



FINAL PROJECT - MN 141581

Analysis of the Effect Line Heating on Mechanical Properties and Microstructure of Steel ASTM A36 with Variations Cooling

Sofyan Sahri

NRP. 4110 100 032

Supervisor

Wing Hendroprasetyo A.P.,S.T., M.Eng.

Department of Naval Architecture and Shipbuilding Engineering

Faculty of Marine Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2015



TUGAS AKHIR - MN 141581

**Analisa Pengaruh Line Heating terhadap Sifat Mekanik
dan Struktur Mikro Baja ASTM A36 dengan Variasi
Pendinginan**

Sofyan Sahri

NRP. 4110 100 032

Dosen Pembimbing

Wing Hendroprasetyo A.P., S.T., M.Eng.

Jurusan Teknik Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2015

LEMBAR PENGESAHAN
Analisa Pengaruh Line Heating terhadap Sifat Mekanik dan
Struktur Mikro Baja ASTM A36 dengan Variasi Pendinginan

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi Rekayasa Perkapalan - Konstruksi
Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Sofyan Sahri

N.R.P. 4110 100 032

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing,



Wing Hendroprasetyo A.P., S.T., M.Eng.

NIP. 19700615 199512 1 001

SURABAYA, [18 Januari 2015]

LEMBAR REVISI
Analisa Pengaruh Line Heating terhadap Sifat Mekanik dan
Struktur Mikro Baja ASTM A36 dengan Variasi Pendinginan

TUGAS AKHIR
Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
Tanggal 07 Januari 2015

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Konstruksi Kapal
Program S1 Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Sofyan Sahri

N.R.P. 4110 100 032

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

Ir. Asjhar Imron, M.Sc., MSE, PED.

Totok Yulianto, S.T., M.T.

Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T.

Dedi Budi Purwanto, S.T., M.T.

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Wing Hendropresetyo A.P., S.T., M.Eng.

SURABAYA, [12 Januari 2015]

Analisa Pengaruh Line Heating terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Baja ASTM A36 dengan Variasi Pendinginan

Nama : Sofyan Sahri
NRP. : 4110100032
Jurusan/Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : Wing Hendropasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng.

ABSTRAK

Pada industri galangan kapal proses *line heating* digunakan untuk memperbaiki bentuk lekukan material yang kurang sempurna atau melengkungkan material yang lurus sesuai pedoman marking. Berdasarkan metode-metode yang telah diterapkan, permasalahannya terletak pada proses pemanasan yang dilakukan dapat mengakibatkan stuktur mikro pada material menjadi getas dan kaku. Untuk menyelesaikan masalah tersebut adalah dengan menganalisa dampak apakah yang timbul dari pemanasan dan pendinginan yang dilakukan terhadap struktur mikro pada material tersebut yang mungkin dapat mengurangi kemampuan sifat mekaniknya. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh pemanasan *line hating* terhadap struktur mikro dan sifat mekanik pada baja ASTM A36.

Metode pemanasan yang dilakukan mengacu pada pada IACS No. 47 tahun 1996 *Shipbuilding and Repair Quality Standard* dengan variasi pendinginan udara dan air. Untuk variasi pendinginan udara menggunakan suhu $\pm 800^{\circ}\text{C}$ sedangkan untuk variasi pendinginan air menggunakan suhu $\pm 600^{\circ}\text{C}$. Untuk ketebalan material pengujian ialah 8 mm dan untuk pemanasannya dilakukan 2 kali. Pengujian untuk meneliti pengaruh terhadap *mechanical properties* menurut ASTM A370 adalah *tensile test*, *impact test*, *hardness*, dan *microetch*. Untuk struktur mikro dianalisa melalui uji metalografi.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa perlakuan *line heating* dengan media pendinginan air memberikan hasil yang lebih baik secara keseluruhan. Dimulai dari nilai tegangan maksimum mengalami kenaikan sebesar 2.16% kemudian peningkatan *energy absorb* sebesar 18.30% dan penurunan kekerasan sebesar 3.16%. Sedangkan variasi pendinginan udara mengalami penurunan sebesar 7.83% kemudian peningkatan *energy absorb* sebesar 15.47% dan penurunan kekerasan sebesar 9.22% dari material tanpa perlakuan panas, untuk ukuran butir perlakuan panas dengan pendinginan air memiliki ukuran butir yang lebih besar diantara variasi lainnya. Meskipun nilai yang didapat dari masing-masing variasi pendinginan tidak terlalu jauh dengan material tanpa perlakuan pemanasan *line heating*.

Kata Kunci : *line heating*, ASTM A36, variasi pendinginan, *mechanical properties*.

Analysis of the Effect Line Heating on Mechanical Properties and Microstructure of Steel ASTM A36 with Variations Cooling

Name of Student : Sofyan Sahri
NRP. : 4110100032
Department/Faculty : Department of Naval Architecture and Shipbuilding
Engineering / Faculty of Marine Technology
Supervisor : Wing Hendropresetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng.

ABSTRACT

In the shipbuilding industry line heating process used to repair the shape of the curve is less than perfect material or material that is straight appropriate indent marking guidelines. Based methods have been applied, the problem in the heating process is done can result in micro structures in the material becomes brittle, to resolve the problem is to analyze whether the effects of heating and cooling are done can change the microstructure of the material so as to reduce the ability of mechanical properties. This study was conducted to determine the effect of heating line hating on microstructure and mechanical properties of the steel ASTM A36.

Line heating methods that do refer to the IACS shipbuilding and repair quality standards with a variety of air and water cooling. For air cooling using temperature variation $\pm 800^{\circ}\text{C}$ while for water cooling using temperature variation $\pm 600^{\circ}\text{C}$. For testing material's thickness is 8 mm and for heating is done 2 times. Tests to examine the effect on the mechanical properties according to ASTM A370 is the tensile test, impact test, hardness, and microetch. To microstructure was analyzed through metallographic test.

The test results showed that treatment using water cooling give better results overall. Starting from the maximum tensile strenght increased by 2.16% then increase absorb energy by 18.30% and a decrease in hardness at 3.16%. while the variation using air cooling decreased by 7.83% and then increase absorb energy by 15.47% and a decrease of 9.22% hardness of the material without heat treatment, for the grain size heat treatment with cooling water has a larger grain size among other variations. Although the values obtained from each of the various cooling is not too far with the material without heat treatment line heating.

Keyword: line heating, ASTM A36, microstructure, mechanical properties.

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warohmatullah Wabarokatuh,

Puji syukur Alhamdulillah penulis ucapkan kepada Allah SWT karena atas segala macam nikmat, karunia, dan hidayahNya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Sholawat juga Salam selalu tercurahkan kepada Junjungan kita Rasulullah Muhammad SAW yang telah memberikan petunjuk jalan menuju kebenaran. Alhamdulillah.

Allah memberikan nikmat, karunia, dan hidayah melalui perantara. Perantara Allah tersebut antara lain:

1. Bapak Wing Hendroprasetyo A.P., S.T., M.Eng, Selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan arahan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Prof. I Ketut Aria Pria Utama M.Sc., Ph.D. selaku Ketua jurusan Teknik Perkapalan FTK - ITS.
3. Bapak Ir. Hesty Anita Kurniawati M.Sc. selaku Dosen wali sekaligus orang tua yang selalu membimbing dengan kharisma dan taat pada aturan yang ada.
4. Dua orang istimewa yusuf dan komsiah yang selama ini tidak bosan-bosannya mendukung dan mengawal perjalanan hidup penulis. Tidak ada yang lebih baik dari anda berdua dan seluruh keluarga besar.
5. Keluarga besar CAPTAIN, kalian keluarga saya di kampus ini.
6. Teman seperjuangan TM dan TA, terima kasih ilmunya.
7. Pak Fairil, Pak Didik, Mas Agil, Pak Pardi, Mas Joko, Pak Yanto yang sangat membantu secara teknis penyelesaian Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa selesai bukan berarti sempurna. Oleh karena itu, kritik maupun saran akan sangat penulis harapkan demi perbaikan atas penelitian ini.

Akhir kata, semoga penelitian ini bermanfaat bagi semua pihak.

Wassalamualaikum Warohmatullah Wabarokatuh.

Surabaya, Desember 2014

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
LEMBAR REVISI	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG MASALAH.....	1
1.2 PERUMUSAN MASALAH	1
1.3 BATASAN MASALAH	2
1.4 TUJUAN	2
1.5 MANFAAT	2
1.6 HIPOTESIS.....	3
1.7 METODOLOGI.....	3
1.7.1 STUDY LITERATUR.....	4
1.7.2 PENGUMPULAN DATA	4
1.7.3 PROSES PEMANASAN.....	4
1.7.4 PENGUJIAN HASIL PEMANASAN.....	4
1.7.5 ANALISA HASIL PENGUJIAN	4
1.7.6 ANALISA DAN KESIMPULAN	4
1.8 SISTEMATIKA PENULISAN	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Pembentukan Panas (<i>Hot Forming</i>).....	7
2.2 Proses <i>Fairing</i> (<i>Line Heating</i>)	9
2.3 Tahap-tahap Pembentukan Panas.....	9
2.4 Media Pendinginan Dalam Proses <i>Quenching</i>	11
2.5 Baja Karbon	11
2.5.1 Diagram Tranformasi Pemanasan.	13
2.5.2 Diagram Transformasi Untuk Pendinginan	14
2.5.3 Klasifikasi Baja Karbon.....	16

2.6	Standardisasi dan Kodifikasi Pada Baja Karbon.....	17
2.7	Sifat Mekanik.....	19
2.8	Pengujian Tarik (<i>Tensile Test</i>).....	20
2.9	<i>Hardness Test</i>	23
2.10	<i>Impact Test</i>	26
2.11	Uji Metalografi.....	28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		31
3.1	Pendahuluan.....	31
3.2	Material yang Digunakan.....	31
3.3	Peralatan Penelitian.....	34
3.4	Proses Perlakuan Panas (<i>Line Heating</i>).....	35
3.4.1	Persiapan Perlakuan Panas.....	35
3.4.2	Pemotongan Pelat Uji.....	36
3.4.3	Tahapan Pendeformasian Sampel Uji.....	37
3.4.4	Proses Perlakuan Panas (<i>Line Heating</i>).....	38
3.4.5	Proses Pembuatan Spesimen.....	43
3.4.6	Proses Pengujian.....	44
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN.....		49
4.1	Analisa Hasil Uji Tarik (<i>Tensile Test</i>).....	49
4.2	Analisa Hasil Uji Impact Charpy.....	53
4.3	Analisa Hasil Uji Kekerasan.....	57
4.4	Analisa Hasil Foto Mikro.....	59
4.5	Pembahasan.....	63
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		65
5.1	Kesimpulan.....	65
5.2	Saran.....	66
DAFTAR PUSTAKA.....		67
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Diagram aliran pengerjaan.....	03
Gambar 2.1. Diagram proses forming.....	07
Gambar 2.2. Proses forming dengan mesin bending.	07
Gambar 2.3. Proses bending.	08
Gambar 2.4. Proses pemanasan pembujur	08
Gambar 2.5. Diagram fase Fe-Fe ₃ C.....	13
Gambar 2.6. Diagram transformasi untuk pemanasan kontinyu baja 0.7 %C.....	14
Gambar 2.7. Perlambatan transformasi akibat pengaruh pendinginan kontinu.....	15
Gambar 2.8. Kurva (F-Δλ) hasil uji tarik.....	20
Gambar 2.9. Gambaran singkat hasil pengujian tarik.	22
Gambar 2.10. Kurva tegangan-regangan.	22
Gambar 2.11. Prinsip kerja Rockwell	24
Gambar 2.12. Benda uji impact.	27
Gambar 2.13. Benda uji impact charpy bentuk “V”	27
Gambar 3.1. Specimen uji.....	32
Gambar 3.2. Alur pengerjaan tugas akhir.	33
Gambar 3.3. Ukuran deformasi yang digunakan.	35
Gambar 3.4. Alur pemotongan	36
Gambar 3.5. Hasil pemotongan.	36
Gambar 3.6. Specimen pada mesin bending.....	37
Gambar 3.7. Mal.	37
Gambar 3.8. Hasil pembentukan deformasi.....	38
Gambar 3.9. Alur pemanasan.	39
Gambar 3.10. Pengontrolan suhu	40
Gambar 3.11. Hasil proses pemanasan.	40
Gambar 3.12. Alur pemanasan.	41
Gambar 3.13. Pengontrolan suhu.	42
Gambar 3.14. Hasil proses pemanasan	42
Gambar 3.15. Standard pengujian tarik ASTM A370.	43
Gambar 3.16. Test piece uji tarik	43

Gambar 3.17. Skala pembebanan.....	44
Gambar 3.18. Specimen uji impact.	45
Gambar 3.19. Proses pengujian kekerasan.	46
Gambar 4.1. (a) material dengan pendinginan air (b) material dengan pendinginan udara (c) tanpa perlakuan.....	52
Gambar 4.2. Grafik perlakuan panas dengan kuat tarik.....	53
Gambar 4.3. (a) material dengan pendinginan air (b) material dengan pendinginan udara (c) tanpa perlakuan.....	56
Gambar 4.4. Grafik variasi pendinginan dengan energy absorb.....	57
Gambar 4.5. Grafik hubungan perlakuan panas dengan angka kekerasan.	59
Gambar 4.6. (a) material dengan pendinginan air (b) material dengan pendinginan udara (c) tanpa perlakuan.....	60
Gambar 4.7. Proses perhitungan ferrit.	61
Gambar 4.8. Grafik penurunan jumlah ferrit	62

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Syarat komposisi kimiaa baja ASTM A36.	18
Tabel 2.2. Syarat uji tarik baja ASTM A36.	18
Tabel 2.3. Rockwell hardness scales.....	25
Tabel 3.1. Syarat komposisi kimiaa baja ASTM A36.	31
Tabel 3.2. Syarat uji tarik baja ASTM A36.....	32
Tabel 3.3. Batas deformasi yang diijinkan.	35
Tabel 3.4. <i>maximum heating temperature on surface for line heating</i>	38
Tabel 3.5. Rekap pemanasan.	40
Tabel 3.6. Rekap hasil pemanasan.	41
Tabel 4.1. Hasil pengujian tarik.	50
Tabel 4.2. Prosentase perubahan kuat tarik, elongation dan reduction of area material tanpa perlakuan panas dan dengan perlakuan panas.	51
Tabel 4.3. Hasil pengujian impact.	54
Tabel 4.4. Prosentasi perubahan kuat impact dengan ekspansi lateral material perlakuan panas dengan tanpa perlakukan panas.	55
Tabel 4.5. Hasil pengujian kekerasan.	57
Tabel 4.6. Prosentase perubahan kekerasan material tanpa perlakuan dengan material perlakuan panas.	58
Tabel 4.7. Prosentase kandungan ferrit.....	61
Tabel 4.8. Hasil rekap pengujian.	63

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG MASALAH

Pada industri galangan kapal proses *line heating* digunakan untuk memperbaiki bentuk lekukan material yang kurang sempurna atau melengkungkan material yang lurus sesuai pedoman marking. Cara kerja *line heating* adalah dengan memanaskan material yang terdeformasi dengan blander. Pemanasan ini tidak boleh melebihi titik leleh dari material yang di *line heating*. Untuk mencegah terjadi panas yang berlebihan, maka saat *line heating* material disiram air secara berkala jika dirasa sudah mendekati suhu tertentu. Namun, saat proses *line heating* material akan memuai secara perlahan sehingga menyebabkan material dapat melengkung yang dikarenakan pemanasan pada spot-spot yang sudah ditentukan. Berdasarkan metode-metode yang telah diterapkan, permasalahannya terletak pada proses pemanasan yang dilakukan dapat mengakibatkan material menjadi getas dan kaku. Untuk menyelesaikan masalah tersebut adalah dengan menganalisa apakah dampak dari pemanasan tersebut menimbulkan perubahan sifat mekanik dan struktur mikro pada material tersebut sehingga dapat mengurangi kemampuan sifat mekaniknya. Pada penelitian ini, dilakukan pengujian dengan menganalisa sifat mekanik dan struktur mikro yang timbul akibat panas pada proses *line heating*. Pemanasan yang akan dilakukan dengan memvariasi suhu pemanasan dan pendinginan. Hasil yang didapatkan dari percobaan tersebut adalah besarnya perubahan sifat mekanik dan struktur mikro pada tiap-tiap variasi *heating*. Perbedaan tersebut nantinya juga digunakan untuk menentukan seberapa besar perbedaan dari masing-masing variasi sehingga didapat pengaruhnya terhadap sifat mekanik pada material tersebut.

1.2 PERUMUSAN MASALAH

Berdasarkan data yang didapat maka permasalahan yang diangkat dalam tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh pemanasan fairing terhadap sifat mekanik dan struktur mikro baja ASTM A36 dengan variasi pendinginan?
2. Adakah perubahan yang terjadi pada sifat mekanik dan struktur mikro pada baja tersebut?

3. Bagaimana prosedur pemanasan tersebut dengan menggunakan variasi pendinginan yang banar?

1.3 BATASAN MASALAH

Ada beberapa batasan masalah yang digunakan pada penelitian ini, diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Dalam tugas akhir ini material yang digunakan baja ASTM A36
2. Permukaan material yang digunakan dalam percobaan diasumsikan rata pada saat proses pemanasan.
3. Metode pemanasan (*fairing*) yang digunakan yaitu :
 - *Line Heating*
4. Suhu yang digunakan pada proses pemanasan ada dua macam yaitu :
 - *Water cooling* $\pm 600^0$ C
 - *Air cooling* $\pm 800^0$ C
5. Sifat mekanik yang dilakukan dalam penelitian ini dilakukan dengan *tensile test*, *hardness test*, *impact test*.
6. Untuk struktur mikro yang akan dilakukan dalam penelitian ini dikaukan dengan uji metalurgi.
7. Proses *fairing* dilakukan dua kali.
8. Proses deformasi awal dilakukan dengan proses mekanik.

1.4 TUJUAN

Pada penelitian ini beberapa tujuan disebutkan sebagai berikut:

Mengetahui perubahan sifat mekanik dan struktur mikro baja ASTM A36 akibat proses *fairing* dengan pendinginan yaitu dengan menggunakan *water cooling* dan *air cooling*.

1.5 MANFAAT

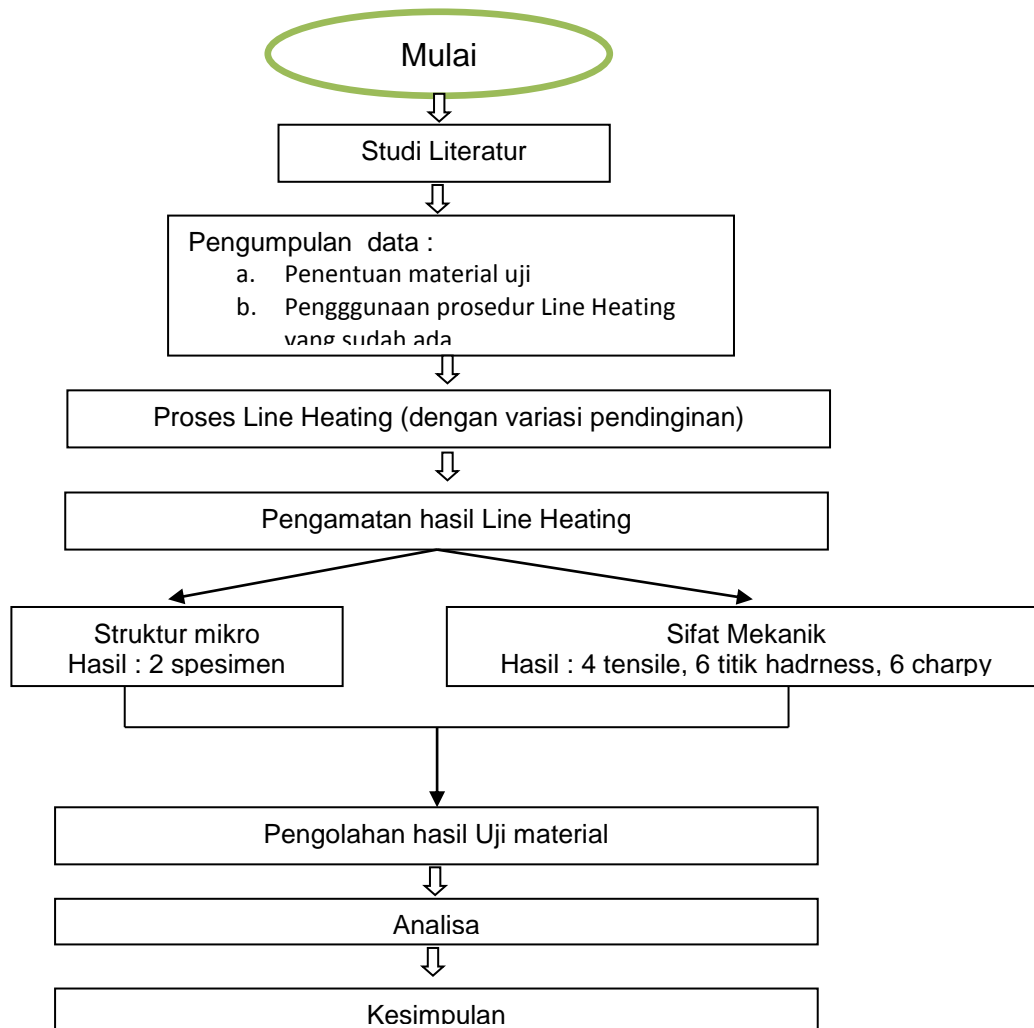
1. Hasil evaluasi struktur mikro dan sifat mekanik ini akan dijadikan acuan untuk saat proses manufaktur pada galangan.
2. Bagi pembaca, dapat dijadikan referensi dalam menentukan metode pemanasan yang sesuai agar tidak terjadi kerusakan pada material.

1.6 HIPOTESIS

Dalam tugas ini diharapkan bahwa pada proses pemanasan line heating menghasilkan struktur mikro dan sifat material mengalami penurunan sifat mekanik dan struktur mikro dari sebelum dikenai proses *line heating*.

1.7 METODOLOGI

Adapun metodologi yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah pembahasan mengenai proses pengerjaan yang akan dilakukan. Pekerjaan ini dideskripsikan mulai dari studi literatur sampai dengan analisa hasil pengujian. Berikut adalah diagram alir pengerjaan tugas akhir yang menjelaskan tentang urutan pelaksanaan pengujian yang akan dilakukan adalah mengikuti diagram alir sebagai berikut:



Gambar 1.1. Diagram aliran pengerjaan

1.7.1 STUDY LITERATUR

Studi Literatur, dilakukannya proses pemahaman tentang teori yang akan dijadikan penelitian. Berasal dari jurnal tugas akhir ataupun dari buku panduan yang berhubungan dengan tugas akhir yang sedang dikerjakan.

1.7.2 PENGUMPULAN DATA

Pengamatan, pada proses ini dilakukan pengamatan spesimen terhadap variabel yang sudah ditentukan. Pada pengamatan dilakukan perlakuan panas dengan sesuai dengan perlakuan yang dilakukan pada kondisi lapangan hingga dihasilkan prosedur yang sama sebagai acuan untuk melakukan proses *line heating*.

1.7.3 PROSES PEMANASAN

Hasil pengamatan, data yang diperoleh dari proses pengamatan akan digunakan untuk acuan untuk melakukan percobaan. Selanjutnya hasil dari pengumpulan data tersebut diterapkan pada percobaan yang dilakukan dengan variabel yang telah ditetapkan sebelumnya.

1.7.4 PENGUJIAN HASIL PEMANASAN

Pada tahap ini, hasil dari proses pemanasan yang dilakukan selanjutnya dibentuk specimen untuk dilakukan pengujian sifat mekanik dan struktur mikro pada material yang telah dilakukan proses *line heating*. Dalam proses pengujian ini sifat mekanik didapat dari uji tarik (*tensile test*), uji impak (*impact test*) dan uji kekerasan (*hardness test*) kemudian untuk struktur mikro dilakukan uji metalurgi untuk mengetahui perubahan struktur yang telah terjadi dari proses pemanasan tersebut.

1.7.5 ANALISA HASIL PENGUJIAN

Analisa yang dilakukan dalam tugas akhir ini ada dua yaitu analisa pada perubahan sifat mekanik yang terjadi pada material yang telah dilakukan proses *line heating* dan kemudian yang kedua perubahan struktur mikro pada baja tersebut setelah dilakukan proses pemanasan.

1.7.6 ANALISA DAN KESIMPULAN

Membandingkan sifat mekanik dan struktur mikro dengan hasil eksperimental kemudian menganalisa hasil pengujian tersebut dan dari data tersebut dapat digunakan sebagai acuan untuk menarik kesimpulan.

1.8 SISTEMATIKA PENULISAN

Untuk memperoleh hasil laporan tugas akhir yang sistematis dan tidak keluar dari pokok permasalahan maka dibuat sistematika sebagai berikut:

BAB 1. PENDAHULUAN

Bab ini berisi konsep dasar penyusunan tugas akhir yang meliputi latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah tujuan penelitian, manfaat penelitian, metodologi penelitian, sistematika penulisan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi mengenai landasan-landasan teori yang digunakan untuk menyelesaikan tugas akhir ini. Dasar teori yang digunakan dalam bab ini digunakan untuk lebih memahami konsep dasar tentang pemanasan line heating, struktur mikro baja serta sifat mekanik pada baja ASTM A36 yang telah dilakukan proses pemanasan (*line heating*).

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi uraian mengenai tahap-tahap yang akan dilakukan dalam pengerjaan tugas akhir, meliputi : Study literature, pengumpulan data, pengujian, pembuatan specimen uji, analisa hasil pengujian, kemudian kesimpulan.

BAB 4. ANALISA DATA

Bab ini berisi hasil data-data pengujian dan data-data analisa dari hasil pengujian yang telah dilakukan. Data dari hasil analisa tersebut digunakan untuk membandingkan perubahan yang terjadi pada proses pemanasan dengan data-data hasil pengujian sehingga didapatkan suatu kesimpulan yang menunjang penelitian yang dilakukan.

BAB 5. PENUTUP

Berisikan kesimpulan dari hasil analisa dan saran-saran untuk pengembangan lebih lanjut yang berkaitan dengan materi yang terdapat dalam tugas akhir ini.

DAFTAR PUSTAKA

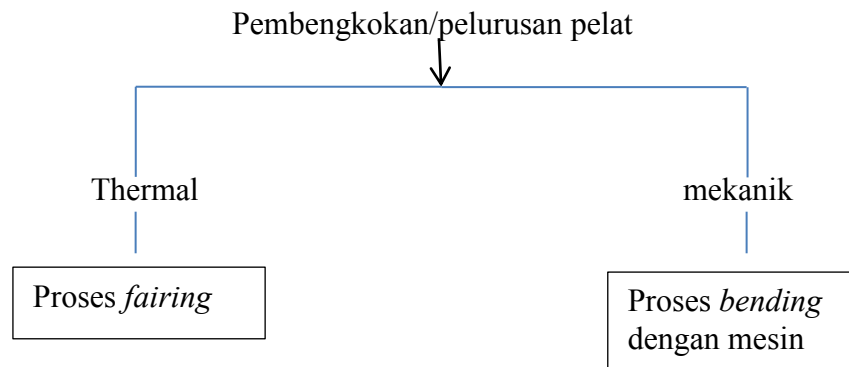
LAMPIRAN

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembentukan Panas (*Hot Forming*)

Proses pembentukan panas sangat umum dilakukan pada plat logam yang telah mengalami proses pengelasan atau pemotongan menggunakan energi panas. Pembentukan panas umumnya dilakukan untuk meluruskan atau membentuk logam sesuai dengan yang diinginkan. Proses pembentukan maupun perbaikan akibat deformasi pelat lambung kapal ini, dilaksanakan dengan bermacam cara sesuai dengan bentuk pelat yang ingin diperbaiki maupun dilakukan pembengkokan, hal ini bisa dijelaskan melalui diagram dibawah ini:



Gambar 2.1. Diagram proses *forming*.

Proses dari pembentukan panas ini terdiri dari pemanasan logam kerja kemudian diikuti dengan proses pendinginan, rangkaian dari proses ini memiliki ciri khusus bahwa semua proses pemanasan dilakukan tanpa mencapai titik lebur dari material tersebut. Sedangkan forming merupakan proses pembentukan suatu material dengan proses dingin dan panas. Proses dingin dilakukan dengan menggunakan mesin bending seperti Gambar 2.1., dan proses panas dilakukan dengan fairing.

Berikut ini merupakan Gambar proses pembentukan secara dingin:



Gambar 2.2. Proses *forming* dengan mesin *bending*.

Proses forming dengan menggunakan panas dilakukan pada plat kapal yang harus disetel lengkung seperti pada bilga kapal. Proses *forming* dingin dan sekaligus panas juga dilakukan pada proses pembentukan pembujur seperti Gambar 2.2. dan Gambar 2.3. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam proses pembentukan pembujur adalah:

- 1) Pembuatan pembujur alas berdasarkan pada *working drawing*.
- 2) Bentuk pembujur mengikuti bentuk kapal.

Berikut ini merupakan Gambar proses *forming*:



Gambar 2.3. Proses *bending*.



Gambar 2.4. Proses pemanasan pembujur.

Langkah –langkah proses pembentukan:

1. Pembuatan gambar kerja pada lantai (lantai berupa pelat tebal).
2. Gambar kerja berupa garis kelengkungan pembujur.
3. Pasangkan ujung pembujur pada ujung garis dengan memasang *stopper*.
4. Pada daerah yang akan dibending dipasang stopper pada tepinya, kemudian dilakukan pemanasan dengan brander.
5. Setelah itu pada sela pembujur dan stopper dipasang paku dan dipukul sampai pembujur tersebut melengkung sesuai garis.

2.2 Proses *Fairing* (*Line Heating*)

Fairing menggunakan line heating merupakan proses pembentukan suatu material dengan proses panas dan proses panas dilakukan dengan *fairing*. *Line heating* adalah proses pengerjaan panas, panas yang dilakukan sesuai dengan garis yang telah dibuat untuk menentukan lajur pemanasan tersebut. Panas yang dilakukan pada permukaan pelat akan didinginkan dengan air secara cepat ataupun dengan udara sehingga terjadi perubahan pada pelat tersebut dan terjadilah deformasi atau perbaikan pada pelat yang telah terjadi deformasi.

Proses *line heating* harus dilakukan oleh tenaga yang telah berpengalaman. Dikarenakan penentu utama deformasi dan kelengkungan yang terjadi berdasarkan faktor-faktor yang mengatur laju pemanasan dan pendinginan sehingga didapat kelengkungan ataupun perbaikan yang sesuai dengan yang diinginkan. Berikut langkah-langkah untuk melakukan *proses line heating*:

Langkah – langkah proses line heating adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan specimen yang akan dilakukan proses line heating.
2. Pemberian tanda pada specimen berupa panjang line heating yang akan dilakukan pada specimen.
3. Proses fairing sendiri dimulai dengan menyesuaikan marking yang telah dibuat dengan kecepatan konstan yaitu dengan dua variasi yaitu suhu $\pm 650^{\circ}\text{C}$ dan $\pm 900^{\circ}\text{C}$. dengan variasinya menggunakan *watercooling* dengan menggunakan *aircooling*.
4. Kemudian dilakukan proses pemanasan pada garis marking yang dibuat.
5. Selanjutnya didinginkan dengan suhu normal sampai dingin.

2.3 Tahap-tahap Pembentukan Panas

Tujuan utama dari proses pemanasan adalah memanaskan logam yang diinginkan secara perlahan. Hasil dari proses pemanasan sangat dipengaruhi oleh kehomogenan suhu pada spesimen. Tidak homogennya suhu pemanasan berakibat satu bagian pada logam akan mengalami pemuaian lebih cepat dari bagian lain, hal ini akan mengakibatkan logam mengalami defleksi yang menimbulkan tegangan sisa akibat pengerjaan yang dapat berakibat retak dan pengurangan kekuatan material. Metode pemanasan yang lambat akan membuat penyebaran panas pada specimen lebih merata keseluruhan bagian material. Berikut tahapan dalam perlakuan panas harus memenuhi tiga hal berikut (Todd, 1994):

1. Pemanasan yaitu memanaskan logam secara perlahan-lahan untuk menjamin bahwa suhu merata diseluruh ruangan dan logam uji.
2. Penahanan yaitu menahan suhu yang diinginkan beberapa saat.
3. Pendinginan yaitu mendinginkan logam uji pada suhu kamar.

Kecepatan pemanasan tergantung pada beberapa hal, yang terpenting adalah konduktivitas panas dari logam yang diuji (Todd, 1994). Logam dengan konduktivitas tinggi dapat dipanaskan lebih cepat daripada logam dengan konduktivitas rendah. Kondisi dari logam uji juga menentukan kecepatan pemanasan, logam pada peralatan yang diperkeras akan lebih lambat dari pada logam yang tidak bertegangan. Specimen dengan ukuran dan luas penampang lebih besar akan membutuhkan waktu pemanasan lebih lama.

Tahap penahanan saat suhu tercapai kemudian dilakukan hingga perubahan struktur logam terjadi dan hampir konstan. Periode penahanan tergantung pada analisa kimia dan massa jenis logam uji (Todd, 1994). Waktu penahanan dilakukan pada suhu tertentu disebut periode penahanan (*soaking period*). Periode penahanan bertujuan untuk menjamin semua bagian specimen mencapai suhu yang sama yang dapat menjegah terjadinya cacat akibat pengerjaan.

Setelah periode penahanan maka specimen harus dikembalikan ke suhu kamar untuk menyelesaikan proses perlakuan panas. Periode pendinginan tergantung pada jenis logam dan hasil komposisi akhir yang diinginkan (Totten, 1991). Metode dari tahap pendinginan ini tergantung pada jenis perlakuan panas yang kita terapkan. Untuk proses pendinginan dapat didinginkan dengan medium pendingin dari gas, padat, cairan ataupun kombinasi dari ketiganya. Perbedaan penggunaan medium pendinginan dapat membuat komposisi hasil proses pemanasan yang berbeda pula.

Quenching adalah prosedur yang digunakan untuk mendinginkan logam yang menerima perlakuan panas (Totten, 1991). Pendinginan pada quenching dilakukan dengan cepat menggunakan oli, air, brine, atau medium pendinginan lain. Logam yang dikeraskan dengan pendinginan udara, mempunyai periode pendinginan yang lambat. *Quenching* biasanya selalu berhubungan dengan pengerasan, biarpun demikian, *quenching* tidak selalu menghasilkan peningkatan kekerasan, sebagai contoh untuk proses annealing pada tembaga, biasanya digunakan air sebagai media pendinginan.

Beberapa logam mudah mengalami retak atau defleksi selama proses quenching, dan kerugian lain yang mengakibatkan efek cacat (Totten, 1991). Oleh karena itu proses quenching harus memilih media pendingin yang tepat menyesuaikan dengan material

ujinya. Brine maupun air digunakan untuk jenis-jenis logam yang membutuhkan periode pendinginan yang sangat cepat, sedangkan campuran oli lebih cocok digunakan untuk proses quenching menggunakan yang membutuhkan periode pendinginan yang lambat. Pada umumnya baja karbon menggunakan air sebagai media pendinginannya dan baja paduan banya menggunakan oli sebagai pendinginanya. Logam-logam non ferrous biasanya didinginkan menggunakan air, perbedaan kecepatan pendinginan tergantung pada kekentalan cairan dan konduktivitas cairan yang dipakai.

2.4 Media Pendinginan Dalam Proses *Quenching*

Liquid quenching, merupakan dua metode yang digunakan dalam proses quenching adalah dengan air tak bergerak dan dengan air yang mengalir atau disiramkan (Todd, 1994).

Pada proses *quenching* dengan air yang tidak mengalir, material didinginkan pada sebuah bejana yang berisi cairan. Hanya pergerakan cairan yang membuat penurunan suhu karena panas dari logam diserap oleh cairan secara langsung. Pada proses *quenching* menggunakan air yang mengalir, cairan disemprotkan kepermukaan dari logam dan pada setiap lubang dari bagian-bagian logam untuk memastikan pendinginan yang merata dan bersamaan. *Quenching* dengan disiram biasanya digunakan pada material yang mempunyai cekungan maupun rongga, yang tidak dapat didinginkan dengan baik menggunakan metode lain. Hal ini juga memungkinkan terjadinya pendinginan yang merata dan seragam untuk menghindari kemungkinan-kemungkinan terjadinya defleksi. Yang biasa digunakan dalam proses pendinginan liquid ini adalah air, brine, minyak, (Todd, 1994).

Dry quenching adalah metode pendinginan yang menggunakan segala macam media yang selain cairan, metode ini biasanya dipakai untuk pendinginan yang pelan untuk menghindari terjadinya melengkungnya material dan terjadinya retak. Material yang biasanya digunakan dalam proses quenching kering ini adalah udara, pasir, abu dan media padat lainnya (Todd, 1994). Semua material padat yang digunakan untuk mendinginkan harus terbebas dari kelembaban untuk menghindari terjadinya pendinginan yang tidak merata.

2.5 Baja Karbon

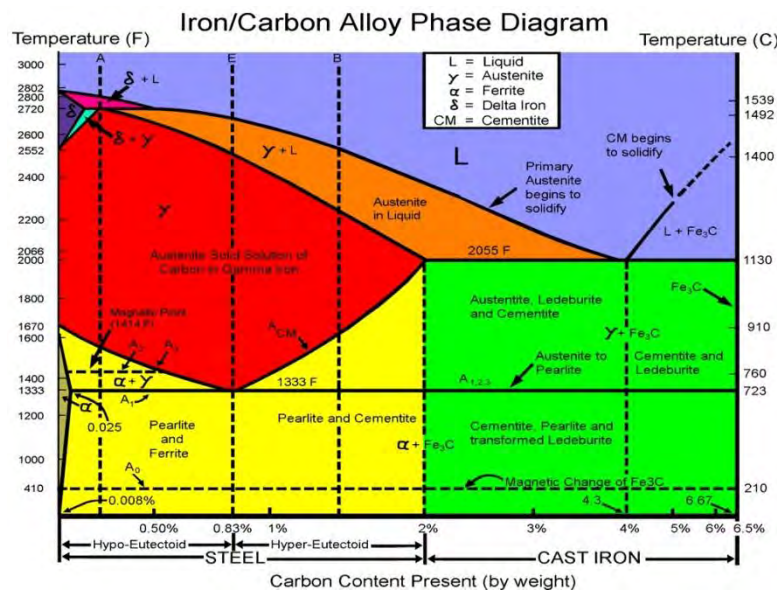
Besi dan baja merupakan logam yang paling banyak digunakan manusia untuk berbagai keperluan. Bahan ini telah banyak sumbangannya terhadap perkembangan budaya manusia. Pada saat ini besi tidak digunakan dalam keadaan murni, tetapi sebagai paduan,

terutama dengan karbon yang dikenal sebagai baja. Dapat disimpulkan bahwa, baja adalah logam paduan yang komponen utamanya adalah besi, dengan karbon sebagai paduan utama pada materialnya. Baja mengandung elemen utama Fe dan C. Baja karbon merupakan salah satu jenis logam paduan besi karbon terpenting dengan prosentase berat karbon hingga 2.11%. Baja karbon memiliki kadar C hingga 1.2% dengan Mn 0.30%-0.95%. Elemen-elemen prosentase maksimum lainnya yang terkandung selain bajanya adalah sebagai berikut: 0.60% Silicon, 0.60% Copper. Karbon adalah unsur kimia dengan nomor atom 6, tingkat oksidasi 4.2 sedangkan Mangan adalah unsur kimia dengan nomor atom 25, tingkat oksidasi 7.6. Mangan dan Karbon merupakan material pokok yang berfungsi meninggikan tegangan (strength) dari baja murni. Pada karbon (C), mempunyai fungsi tersendiri yaitu sebagai komponen kimia pokok yang menentukan sifat baja. Sehingga semakin tinggi kadar karbon di dalam baja, maka semakin tinggi kekuatan tarik. Tetapi, koefisien muai bahannya menjadi turun dan baja semakin getas. Karbon mempunyai pengaruh yang paling signifikan terhadap sifat mampu las. Karena semakin tinggi kadar karbon maka sifat mampu lasnya menjadi semakin rendah (Cardarelli, 1999). Seperti terlihat pada gambar 2.4.

Fasa-fasa padat yang terdapat di dalam baja :

- a. **Ferrite (α)** merupakan larutan padat karbon di dalam besi, kelarutan karbon maksimum 0.025% (pada 723°C) dan hanya 0.008% di temperatur kamar. *Ferriten* ini mempunyai sifat kekuatan yang rendah tapi punya keuletan tinggi, dan nilai kekerasannya kurang dari 90 Rc.
- b. **Austenite (γ)** merupakan larutan padat karbon di dalam besi, yang mempunyai nilai kekuatan tarik $\pm 1050 \text{ kg/cm}^2$ dan nilai kekerasan 40 Rc. *Austenite* memiliki sifat ketangguhan yang tinggi, tidak stabil pada temperatur kamar, ulet, non magnetis dan lain-lain.
- c. **Cementite** (besi karbida) adalah senyawa (*interstisial*) sel satuan yang berupa struktur kristal *orthorombik*, *Cementite* ini mempunyai sifat yang sangat keras yaitu sekitar ± 650 BHN, memiliki kekuatan yang rendah yaitu sekitar $\pm 350 \text{ kg/cm}^2$ dan getas.
- d. **Pearlite** merupakan *eutectoid* campuran fasa dari *ferit* dan *cementite* yang mengandung 0.8% C, yang terbentuk pada temperatur 723°C sehingga mempunyai sifat mekanik yang kuat.
- e. **Ledeburite** merupakan suatu *eutectoid mixture* dari *austenite* dan *cementite*. Pada *ledeburite* ini mengandung 4,3% C yang terbentuk pada temperatur 1130°C .

- f. **Lower Critical Temperature** (temperatur kritis bawah) A_1 adalah temperatur *eutectoid* pada diagram Fe-Fe₃C yang tampak berupa garis mendatar di temperatur 723°C. Pada temperatur tersebut akan terjadi reaksi *eutectoid*.
- g. **Upper Critical Temperature** (temperatur kritis atas) A_3 adalah temperatur awal terjadinya perubahan *allotropic* dari ferit ke austenit (pada proses pendinginan) atau akhir perubahan *allotropic* dari ferrite ke austenite.
- h. **Garis Solvus A_{cm}** adalah batas kelarutan karbon yang ada di dalam *austenite*.



Gambar 2.5. Diagram Fase Fe-Fe₃C.

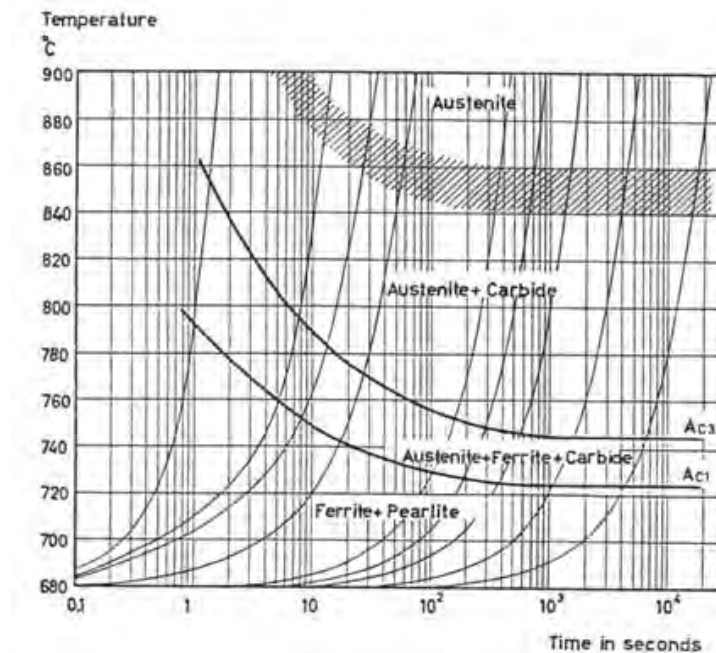
[www.1.bp.blogspot.com/, 2014]

2.3.1 Diagram Transformasi Pemanasan.

Diagram ini memperlihatkan pengaruh temperatur dan waktu terhadap perkembangan transformasi pada pemanasan. Transformasi fase pada saat pemanasan ekuilibrium (Gambar 2.6.), dalam hal ini jika pemanasan tidak ekuilibrium maka diperlukan penahanan selama beberapa saat supaya struktur kristal dan komposinya homogen. Austenit γ yang baru terbentuk masih belum homogen, baik pada baja eutektoid, baja hipoeutektoid, dan baja hipereutektoid.

Transformasi yang digambarkan di atas adalah transformasi yang berlangsung pada temperatur konstan (transformasi isothermal), dimana spesimen dipanaskan sangat cepat kesuatu temperatur lalu ditahan pada temperatur itu, sehingga transformasi berlangsung secara isothermal. Pemanasan dengan cara seperti itu hanya dapat dilakukan terhadap benda yang sangat kecil dan dengan dapur khusus. Pemanasan dengan cara seperti

itu jarang dilakukan pada proses laku panas. Laju pemanasan biasanya tidak begitu tinggi, sehingga transformasi akan berlangsung bersamaan dengan naiknya temperatur. Agar semua austenit γ dapat menjadi homogen perlu diberikan waktu untuk berlangsungnya difusi, disamping itu austenit γ yang baru terbentuk masih merupakan butiran-butiran kecil. [ASM International, 1991]



Gambar 2.6. Diagram transformasi untuk pemanasan kontinyu baja 0.7 %C.

[ASM International, 1991]

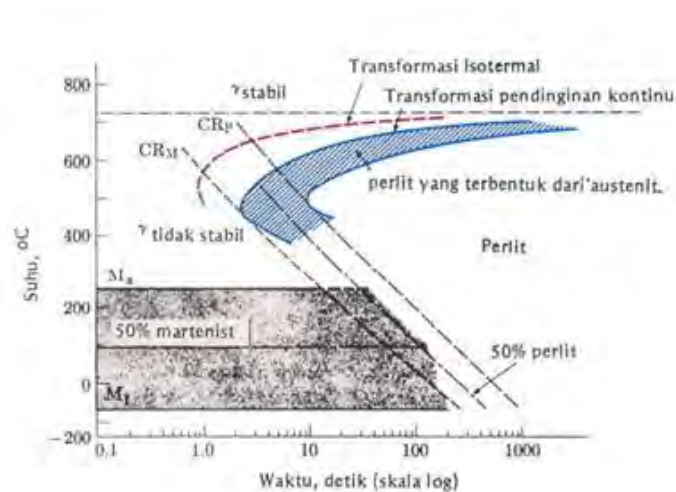
Dari diagram itu dapat dilihat bahwa laju pemanasan berpengaruh terhadap temperatur transformasi, makin tinggi laju pemanasan makin tinggi temperatur transformasinya. Laju pemanasan ke suatu temperatur juga berpengaruh terhadap laju transformasi dan laju pelarutan, makin tinggi laju pemanasan makin tinggi laju transformasi dan pelarutan seperti Gambar 2.6..

2.3.2 Diagram Transformasi Untuk Pendinginan

Bila austenit γ bertransformasi dengan pendinginan secara isothermal, pada temperatur tertentu, akan didapatkan struktur tertentu sesuai dengan skema pada Gambar 2.8. (disebut kurva IT – *Isothermal Transmormation* atau TTT – *Time Temperature Transmormation*). Pada diagram TTT, tertera waktu yang diperlukan agar austenit pada komposisi dan temperatur tertentu, bertransformasi menjadi perlit, bainit, atau martensit. Transformasi pendinginan austenit γ selain secara isothermal juga dikenal pula pendinginan kontinyu (disebut kurva CCT – *Continues Cooling Transmormation*), Gambar 2.7. [ASM International, 1991]

Jadi untuk menghasilkan martensit yang keras, harus dicegah terjadinya reaksi austenit (ferit + sementit), baik dalam bentuk perlit maupun bainit selama pencelupan. Dengan kata lain dicegah proses difusi, baik dengan pendinginan yang mendadak, mengatur besar butir austenit dan perlambatan oleh paduan (termasuk kadar karbon sendiri) serta perlambatan oleh pendinginan kontinu. Bila dibandingkan transformasi menjadi perlit, bainit dan martensit. Transformasi austenit perlit terjadi sepenuhnya dengan difusi, transformasi austenit bainit sebagian dengan terjadinya shear (yang ditimbulkan oleh *thermodynamic driving force*) dan sebagian difusi, sedangkan transformasi austenit martensit sepenuhnya dengan shear, tanpa difusi.

Martensit adalah struktur yang metastabil, dengan beberapa atom karbon yang terperangkap dalam struktur kristal BCT (*body centered tetragonal*). Kalau dibiarkan saja tidak terjadi perubahan, tetapi bila dipanaskan kembali maka ia akan mengalami perubahan menuju struktur yang lebih stabil, ferrit dan sementit. Martensit temper berbeda dengan perlit. Pembentukan perlit berasal dari proses transformasi austenit melalui difusi dengan pendinginan lambat, terdiri dari struktur lamelar ferrit dan sementit. Pembentukan martensit temper berasal dari proses transformasi austenit menjadi martensit melalui mekanisme tanpa difusi (*shear*) dengan pendinginan cepat dilanjutkan proses temper, terdiri dari partikel halus sementit yang terdispersi pada matrik ferrit, seperti Gambar 2.7. [ASM International, 1991]



Gambar 2.7. Perlambatan transformasi akibat pengaruh pendinginan kontinu.

[www.infometrik.com/, 2014]

Kekerasan baja setelah dikeraskan terutama tergantung pada banyaknya martensit yang terjadi dan kekerasan martensitnya sendiri. Kekerasan martensit tergantung pada

kadar karbon dalam martensit, dan kadar karbon dalam martensit ini tergantung pada kadar karbon yang terlarut dalam austenit. Kemampuan pengerasan (*hardenability*) merupakan sifat suatu bahan yang menggambarkan mudah tidaknya suatu bahan dikeraskan hingga mencapai kekerasan tertentu. Kemampuan pengerasan pada dasarnya tergantung pada diagram transformasi, karena itu ia akan tergantung pada dua faktor utama yaitu komposisi kimia (kadar karbon dan unsur paduan) austenit dan ukuran butir (*grain size*) austenit.

2.3.3 Klasifikasi Baja Karbon

Selama periode pengenalan baja structural sebagai bahan bangunan utama hingga tahun 1960, baja yang dipakai adalah baja karbon. Namun ada berbagai macam jenis baja karbon sesuai dengan kandungan yang bermacam-macam sesuai dengan kadar karbon yang berada pada material tersebut. Berikut macam-macam jenis baja karbon sesuai dengan kandungan karbon yang terdapat pada material tersebut:[Amanto, 1999]

1. *Low Carbon Steel* (Baja Karbon Rendah)

Merupakan baja dengan kadar karbon yang mencapai 0.25%. Baja jenis ini penggunaannya sangat luas dan biasanya digunakan sebagai baja konstruksi umum, baja tulangan beton, mur, baut, untuk baja profil rangka bangunan, rangka kendaraan, pipa, pelat dan lain-lain. Baja ini mempunyai kekuatan yang relatif rendah, lunak tetapi keuletannya tinggi, mudah dibentuk dan di *machining* serta tidak dapat dikeraskan (kecuali dengan *case hardening*).

2. *Medium Carbon Steel* (Baja Karbon Sedang)

Merupakan baja dengan kadar karbon sekitar 0.25-0.55%, sifatnya lebih kuat, keras dan bisa dikeraskan. Di dalam penggunaannya hampir sama dengan *low carbon steel*, baja jenis ini sangat dibutuhkan untuk benda yang memerlukan kekuatan dan ketangguhan yang lebih tinggi, contohnya pada baja konstruksi mesin, rantai, as, roda gigi, dan lain-lain.

3. *High Carbon Steel* (Baja Karbon Tinggi)

Adalah baja dengan kadar karbon lebih dari 0.55%, mempunyai sifat lebih kuat dan lebih keras, tetapi memiliki nilai keuletan dan nilai ketangguhan yang rendah. Baja jenis ini biasanya digunakan untuk perkakas yang memerlukan sifat tahan aus, seperti pada produk mata bor, reamer, tap dan perkakas tangan yang lainnya.

4. Struktur Mikro Baja Karbon

Pada baja karbon rendah atau baja karbon sedang, pada saat ini banyak digunakan untuk proses pembentukan logam lembaran, misalnya untuk rangka dan badan kendaraan serta komponen-komponen otomotif lainnya. Baja jenis ini dibuat dan digunakan dengan

memanfaatkan sifat-sifat *ferrite*. Pada baja karbon rendah umumnya mempunyai kadar karbon di bawah komposisi *eutectoid* yang struktur mikronya hampir seluruhnya *ferrite*. Untuk lembaran baja kadar karbon sangat rendah atau ultra rendah, jumlah atom karbonnya bahkan masih berada dalam batas kelarutannya pada larutan padat sehingga struktur mikro yang terbentuk seluruhnya adalah *ferrite*.

5. Baja Paduan

Baja paduan dihasilkan dengan biaya lebih mahal dari baja karbon lainnya, karena bertambahnya biaya untuk penambahan pengerasan khusus yang dilakukan dalam industri atau pabrik. Baja paduan dapat didefinisikan sebagai suatu baja yang dicampur dengan satu atau lebih unsur campuran seperti nikel, kromium, molibden, vanadium, mangan, dan wolfram yang berguna untuk memperoleh sifat-sifat baja yang dikehendaki. [Amanto, 1999]

Baja paduan diklasifikasikan menurut kadar paduannya dibagi menjadi:

- Baja paduan rendah (*low-alloy-steel*), jika elemen paduan $\leq 2.5\%$ misalnya unsur Cr, Mn, S, Si, P dan lain-lain.
- Baja paduan menengah (*medium-alloy-steel*), jika elemen paduannya 2.5 – 10% misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P, dan lain-lain.

Baja paduan tinggi (*high-alloy steel*) jika elemen paduannya $> 10\%$ misalnya unsur Cr, Mn, Si, S, P, dan lain-lain.

2.6 Standardisasi dan Kodifikasi Pada Baja Karbon

Standardisasi yaitu proses merumuskan, merevisi, menetapkan, dan menerapkan standar yang dilaksanakan secara tertib dan kerjasama dengan semua pihak. Standard Nasional Indonesia adalah standard yang ditetapkan oleh instansi teknis setelah memperoleh persetujuan dari Dewan Standardisasi Nasional, dan berlaku secara nasional di Indonesia. Struktur penomoran SNI terdiri atas serangkaian kode dengan arti tertentu yaitu berupa kode SNI, nomor bagian, nomor seksi, nomor unik, serta tahun penetapan. Kode SNI menetapkan bahwa dokumen tersebut adalah Standard Nasional Indonesia. Lalu nomor unik adalah identifikasi dari suatu standar tertentu yang jumlah digitnya sesuai kebutuhan, minimal 4 digit dan diawali dengan angka 0. Nomor seksi merupakan identifikasi yang menunjukkan nomor urut seksi dari suatu standar bagian tertentu. Nomor bagian merupakan identifikasi yang menunjukkan nomor urut bagian dari suatu standar yang mempunyai bagian.

Untuk standardisasi internasional yang sering dijumpai, salah satunya yaitu dari Jepang yang disingkat JIS (*Japan Industrial Standard*) dari Amerika yaitu ASTM (*American Society for Testing Materials*), AISI (*American Iron and Steel Institute*) dan dari berbagai negara lainnya.

Ada beberapa tipe standarisasi yang umumnya diterapkan pada baja, termasuk baja karbon, diantaranya adalah :

- **SNI** (Standar Nasional Indonesia)
- **AISI** (*American Iron Steel Institute*)
- **SAE** (*Society for Automotive Engineering*)
- **JIS** (*Japan Industrial Standard*)
- **ASTM** (*American Society for Testing Materials*)

Dalam tugas akhir ini material yang digunakan ialah material ASTM A36. ASTM A36 merupakan material yang paling umum digunakan dalam pembuatan *mild and hot rolled steel*. Material ini mempunyai *welding properties* yang sangat bagus dan cocok dalam proses *grinding, punching, tapping, drilling, dan machining*. Syarat komposisi kimia dari baja ASTM A36 dapat dilihat pada Tabel 2.1, sedangkan syarat uji tariknya dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.1. Syarat Komposisi Kimia Baja ASTM A36.
[American Society for Testing and Materials, 2004]

NOTE 1— Where “. . .” appears in this table, there is no requirement. The heat analysis for manganese shall be determined and reported as described in the heat analysis section of Specification A 6/A 6M.

Product	Shapes ^A	Plates ^B					Bars			
		To ¾ [20], incl	Over ¾ to 1½ [20 to 40], incl	Over 1½ to 2½ [40 to 65], incl	Over 2½ to 4 [65 to 100], incl	Over 4 [100]	To ¾ [20], incl	Over ¾ to 1½ [20 to 40], incl	Over 1½ to 4 [100], incl	Over 4 [100]
Thickness, in. [mm]	All									
Carbon, max, %	0.26	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29	0.26	0.27	0.28	0.29
Manganese, %	0.80–1.20	0.80–1.20	0.85–1.20	0.85–1.20	...	0.60–0.90	0.60–0.90	0.60–0.90
Phosphorus, max, %	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Sulfur, max, %	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicon, %	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.15–0.40	0.15–0.40	0.15–0.40	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.40 max
Copper, min, % when copper steel is specified	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

^A Manganese content of 0.85–1.35 % and silicon content of 0.15–0.40 % is required for shapes over 426 lb/ft [634 kg/m].

^B For each reduction of 0.01 percentage point below the specified carbon maximum, an increase of 0.06 percentage point manganese above the specified maximum will be permitted, up to the maximum of 1.35 %.

Tabel 2.2. Syarat Uji Tarik Baja ASTM A36.
[American Society for Testing and Materials, 2004]

Plates, Shapes, ^B and Bars:	
Tensile strength, ksi [MPa]	58–80 [400–550]
Yield point, min, ksi [MPa]	36 [250] ^C
Plates and Bars ^{D,E} :	
Elongation in 8 in. [200 mm], min, %	20
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %	23
Shapes:	
Elongation in 8 in. [200 mm], min, %	20
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %	21 ^B

^A See the Orientation subsection in the Tension Tests section of Specification A 6/A 6M.

^B For wide flange shapes over 426 lb/ft [634 kg/m], the 80 ksi [550 MPa] maximum tensile strength does not apply and a minimum elongation in 2 in. [50 mm] of 19 % applies.

^C Yield point 32 ksi [220 MPa] for plates over 8 in. [200 mm] in thickness.

^D Elongation not required to be determined for floor plate.

^E For plates wider than 24 in. [600 mm], the elongation requirement is reduced two percentage points. See the Elongation Requirement Adjustments subsection under the Tension Tests section of Specification A 6/A 6M.

Dilihat dari suhu perlakuan panasnya, ASTM A36 mempunyai titik suhu *preheat* 788°C. [www.steel-grades.com/Steel-grades/Carbom-steel/astm-a36.html]. Semua *carburizing* and *hardening method* yang digunakan pada AISI 1018 cocok digunakan pada ASTM A36. Selain itu, ASTM A36 mempunyai titik suhu: [www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6117]

- *Normalizing* pada 899°C - 954°C (1650°C – 1750°C)
- *Annealing* pada 843°C - 871°C (1550°C – 1600°C)
- *Stress relieving* pada 677°C - 927°C (1250°C- 1700°C)
- *Carburizing* pada 899°C - 927°C (1650°C – 1700°C)
- *Hardening* pada 788°C - 816°C (1450°C – 1500°C)

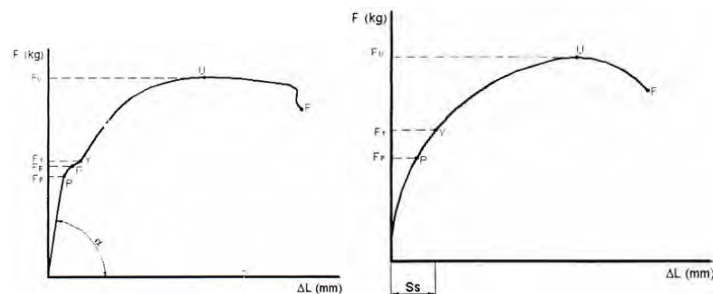
2.7 Sifat Mekanik

Sifat mekanik adalah salah satu sifat terpenting, karena sifat mekanik menyatakan kemampuan suatu bahan (tentunya juga komponen yang terbuat dari bahan tersebut). Untuk menerima beban atau gaya dan energy tanpa menimbulkan kerusakan pada bahan atau komponen tersebut. Seringkali bila suatu bahan mempunyai sifat mekanik yang baik tetapi kurang baik pada sifat yang lain maka diambil langkah untuk mengatasi kekurangan tersebut dengan berbagai cara, misalnya saja baja, baja mempunyai sifat mekanik yang baik (memenuhi syarat untuk suatu pemakaian) tetapi mempunyai sifat tahan korosi yang kurang baik, maka seringkali sifat tahan korosinya ini diperbaiki dengan pengecatan atau galvanishing, jadi tidak harus mencari bahan lain yang selain kuat juga tahan korosi. Nilai dari *mechanical properties* digunakan sebagai acuan untuk menentukan karakteristik dari las-lasan, antara lain kekuatan (*strength*), keuletan (*ductility*), kekerasan (*hardness*), dan ketangguhan (*toughness*). [Amanto, 1999]

Dalam tugas akhir ini, akan dilakukan pengujian tensile test, hardness test, dan impact test, dimana pengujian tersebut ditujukan untuk mengetahui kekuatan, kekerasan dan ketangguhan material tersebut setelah dilakukan proses fairing.

2.8 Pengujian Tarik (*Tensile Test*)

Pengujian tarik biasanya dilakukan terhadap specimen/ batang uji yang standar. Bahan yang akan diuji tarik mula-mula dibuat menjadi batang uji dengan bentuk sesuai dengan suatu standar. Pada pengujian tarik dipakai benda uji standar yang dicekam pada sebuah mesin penguji, kemudian benda tersebut ditarik dengan kecepatan pembebanan tertentu. Selama proses penarikan ini mesin akan menunjukkan diagram seperti pada gambar dibawah ini:



a. untuk baja (*ferrous*)

b. untuk aluminium (*non-ferrous*)

Gambar 2.8. Kurva ($F-\Delta\lambda$) hasil uji tarik.

[www.wikipedia.id, 2014]

Dari Gambar 2.8.a terlihat bahwa untuk baja karbon rendah pada saat penarikan sampai beban F_p , penambahan panjang yang terjadi sebanding dengan beban yang dikenakan. jika benda uji ditarik oleh kekuatan yang tidak melebihi batas ini maka benda uji tersebut akan mengalami deformasi elastis, yang berarti benda tersebut akan kembali ke panjang semula setelah tegangan dihilangkan. Jika tegangan yang diberikan lebih besar maka benda tersebut akan mengalami deformasi plastis.

Pada saat perpindahan dari garis lurus menuju ke kurva terjadi pertambahan panjang tanpa adanya pertambahan beban yang berarti, posisi ini dinamakan saat luluh atau *yield point*. Kebanyakan logam titik luluh ini tidak tampak jelas, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.10. b. Oleh sebab itu penentuan titik luluh sangat tergantung dari pada alat ukur yang digunakan. Semakin teliti maka akan semakin rendah titik luluhnya. Untuk menyeragamkan interpretasi, maka diambil kesepakatan yaitu: luluh terjadi pada saat defaormasi permanen mencapai batas tertentu. Adapun batas deformasi permanen/ plastis yang sering digunakan adalah 0,1% dan 0,2%. Untuk menentukan tegangan yang

bersesuaian dengan deformasi permanent tersebut, dapat dilakukan dengan menarik garis lurus dari titik regangan sebesar 0,1% atau 0,2% sejajar dengan bagian linier dari kurva tegangan-regangan.

Beban maksimum dimana spesimen bertahan tanpa patah disebut beban pada tegangan maksimum. Besarnya tegangan maksimum adalah :

$$\sigma_u = \frac{F_u}{A_0} \text{ (kg/mm}^2\text{)}$$

sampai dengan tegangan maksimum, deformasi terjadi secara homogen sepanjang spesimen. Setelah mencapai tegangan maksimum, pada logam yang ulet akan terjadi pengecilan penampang setempat (*necking*), dimana pertambahan panjang lokal terjadi dibarengi dengan penurunan beban/tegangan. Selanjutnya spesimen akan patah dibawah posisi maksimum. pada logam getas, titik F akan patah pada saat beban maksimum.

Tujuan pengujian tarik adalah untuk mengetahui sifat mekanis dari suatu material terhadap tarikan dimana sifat mekanis tersebut antara lain meliputi batas lumer, kekuatan tarik, kekenyalan, pertambahan panjang dan pengecil luas penampang. Percobaan ini dilakukan dengan memberikan beban tarik pada benda uji secara perlahan-lahan sampai patah. Peristiwa yang dialami oleh benda uji adalah perubahan bentuk, dalam arah aliran memanjang yang berbanding lurus dengan pertambahan gaya. Deformasi pada tingkat ini disebut deformasi elastis. Apabila dilepaskan ($P = 0$ ton), maka panjang benda uji akan kembali ke ukuran semula seperti sebelum mengalami pembebanan yaitu L_0 . Pada daerah ini berlaku hukum Hook, yaitu :

- Modulus Elastisitas : $E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$
- Tegangan sebesar : $\sigma = \frac{P}{A_0}$ [kg/mm²]
- Regangan sebesar : $\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{(L - L_0)}{L_0}$ [%]

dimana:

E = Modulus Elastisitas

σ = Tegangan Tarik

ε = Regangan

A_0 = Luas penampang awal sebelum ada pembebanan

P = Beban yang diberikan pada benda uji

1. Material *Ductile*

Material yang bersifat *ductile* jika ditarik hingga patah, maka bidang patahannya akan memiliki ciri-ciri sebagai berikut :

- terjadi deformasi pada bidang patahan
- bidang patahan membentuk sudut kurang lebih 45° terhadap permukaan memanjang *test piece*.
- permukaan bidang patahan tampak suram dan berserat-serat, yang menunjukkan bentuk patahan geser (*shear fracture*).
- bentuk bidang patahannya dinamakan *cup and cone*

2. Material *Brittle*

Material yang bersifat *brittle* atau getas jika ditarik hingga patah, maka bidang patahannya akan memiliki ciri-ciri sebagai berikut :

- bidang patahannya sedikit atau bahkan tidak mengalami deformasi
- bidang patahan membentuk sudut kurang lebih 90° terhadap permukaan memanjang *test piece*
- permukaan bidang patahan tampak mengkilap dan berkilauan (*granular*), yang disebut juga patahan belah (*cleavage fracture*).
- bentuk bidang patahannya dinamakan *flat cleavage*.

3. Material Semi *Ductile*/Semi *Brittle*

Material-material yang bersifat semi *ductile* atau semi *brittle* jika ditarik hingga patah, maka bidang patahannya akan memiliki ciri-ciri sebagai berikut :

- bidang patahannya hanya sedikit mengalami deformasi
- permukaan bidang patahan tampak suram dan berbentuk seperti bintang (*star fracture*)
- bentuk bidang patahannya dinamakan partial *cup and cone*

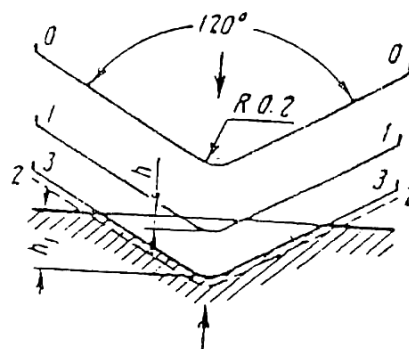
2.9 **Hardness Test**

Kekerasan (*Hardness*) adalah salah satu sifat mekanik (*Mechanical properties*) dari suatu material. Kekerasan suatu material harus diketahui khususnya untuk material yang dalam penggunaannya akan mengalami gesekan (*frictional force*) dan deformasi plastis. Deformasi plastis sendiri suatu keadaan dari suatu material ketika material tersebut diberikan gaya maka struktur mikro dari material tersebut sudah tidak bisa kembali ke

bentuk asal artinya material tersebut tidak dapat kembali ke bentuknya semula. Lebih ringkasnya kekerasan didefinisikan sebagai kemampuan suatu material untuk menahan beban identasi atau penetrasi (penekanan). Pengujian kekerasan sering sekali dilakukan karena mengetahui kekerasan suatu material maka (secara umum) juga dapat diketahui beberapa sifat mekanik lainnya, seperti kekuatan. Pada pengujian kekerasan dengan metoda penekanan, penekan kecil (indentor) ditekan pada permukaan bahan yang akan diuji dengan penekanan tertentu. Kedalaman atau hasil penekanan merupakan fungsi dari nilai kekerasan, makin lunak suatu bahan makin luas dan makin dalam akibat penekanan tersebut, dan makin rendah nilai kekerasannya. [American Society for Testing and Materials, 2004]

Pada pengujian kekerasan Rockwell, angka kekerasan yang diperoleh merupakan fungsi dari kedalaman indentasi pada specimen akibat pembebanan statis. Pada pengujian dengan metode Rockwell dapat digunakan dua bentuk indentor, yaitu berbentuk bola dari baja yang dikeraskan dengan berbagai diameter, dan berbentuk kerucut dari intan (diamond cone). Beban yang diberikan pada saat indentasi disesuaikan dengan bentuk dan dimensi indentor, pengujian ini banyak dilakukan di industri karena pelaksanaannya lebih cepat, dimana angka kekerasan specimen uji dapat dibaca langsung pada dial mesin. [American Society for Testing and Materials, 2004]

Prosedur pengujian kekerasan Rockwell dilakukan dengan melakukan indentor dengan beban awal 10 kg, yang menyebabkan kedalaman indentasi h , jarum penunjuk diset pada angka nol skala hitam, kemudian beban mayor diberikan. Cara kerja ini secara skematik ditunjukkan pada gambar. 2.11.



Gambar 2.11. Prinsip kerja Rockwell.

[www.alatuji.com, 2014]

Keterangan :

0-0 Posisi sebelum indentasi

1-1 Penetrasi pada saat beban awal P'

2-2 Penetrasi pada saat beban penuh (P'+P)

3-3 Penetrasi setelah beban utama dilepas (P')

Angka kekerasan Rockwell tidak bersatuan, tetapi didahului dengan satu huruf depan seperti pada table 1 yang menyatakan kondisi pengujian. Angka skala pada mesin terdiri dari dua skala, yaitu merah dan hitam, berbeda 30 angka kekerasan. Skala Rockwell terbagi 100 divisi, dimana setiap divisi sebanding dengan kedalaman indentasi 0,002 mm. Angka kekerasan Rockwell B dan Rockwell C dinyatakan sebagai kedalaman indentasi (h1) dapat ditulis sebagai berikut :

$$R_B = 130 - \frac{\text{kedalamanindentasi (mm)}}{0.002}$$

$$R_C = 100 - \frac{\text{kedalamanindentasi (mm)}}{0.002}$$

Tabel 2.3. *Rockwell Hardness Scales.*

[www.alatuji.com, 2014]

Scale	Indentor	F0 (kgf)	F1 (kgf)	F (kgf)	E	Jenis Material Uji
A	Diamond cone	10	50	60	100	Extremely hard materials, tugsen carbides, dll
B	1/16" steel ball	10	90	100	130	Medium hard materials, low dan medium carbon steels, kuningan, perunggu, dll
C	Diamond cone	10	140	150	100	Hardened steels, hardened and tempered alloys
D	Diamond cone	10	90	100	100	Annealed kuningan dan tembaga
E	1/8" steel ball	10	90	100	130	Berrylium copper,phosphor bronze, dll
F	1/16" steel ball	10	50	60	130	Alumunium sheet
G	1/16" steel ball	10	140	150	130	Cast iron, alumunium alloys
H	1/8" steel ball	10	50	60	130	Plastik dan soft metals seperti timah
K	1/8" steel ball	10	140	150	130	Sama dengan H scale
L	1/4" steel ball	10	50	60	130	Sama dengan H scale
M	1/4" steel ball	10	90	100	130	Sama dengan H scale
P	1/4" steel ball	10	140	150	130	Sama dengan H scale
R	1/2" steel ball	10	50	60	130	Sama dengan H scale
S	1/2" steel ball	10	90	100	130	Sama dengan H scale
V	1/2" steel ball	10	140	150	130	Sama dengan H scale

Dari Tabel 2.3. terlihat bahwa skala B untuk indentor bola, sedangkan skala C untuk indentor kerucut intan. Disamping itu dari berbagai skala Rockwell skala B dan C yang banyak digunakan. Rockwell skala B digunakan untuk logam lunak, seperti kuningan,

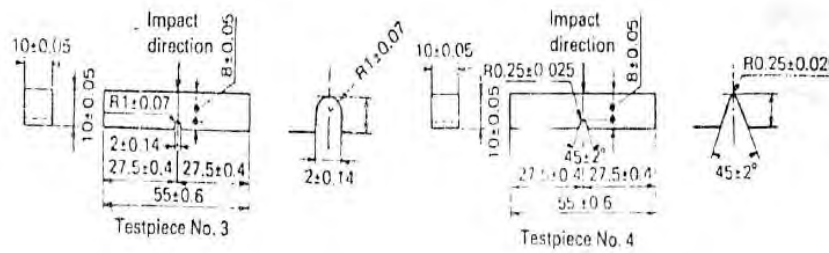
bronze, dan logam yang kekerasannya sedang seperti baja karbon rendah, baja karbon sedang yang dianneal. Rockwell skala C digunakan untuk material yang kekerasannya di atas 100 pada skala B. Daerah kerja skala C di atas 20. Baja yang terkeras sekitar $RC = 70$.

2.10 *Impact Test*

Uji impak bisa diartikan sebagai suatu test yang mengukur toughness atau kekenyalan suatu material; yaitu kemampuan suatu material untuk menyerap energi sebelum terjadinya ke patahan. Dalam hal ini energi didapat dari suatu bandul yang mempunyai ketinggian tertentu dan berayun memukul benda test, berkurangnya energi potensial dari bandul sebelum dan sesudah memukul benda uji merupakan energi yang dapat diserap oleh benda uji tersebut. Takik atau notch memegang peranan yang penting terhadap kekuatan Impak suatu material. Dua buah benda kerja yang mempunyai luas penampang, penahan beban yang sama bisa mempunyai kekuatan impak yang selalu jauh berbeda akibat perbedaan bentuk takik yang dimiliki. Adanya takikan pada benda kerja yang bisa berupa bentuk konfigurasi hasil desain, pengerjaan yang salah seperti diskontinuitas pada pengelasan, atau korosi lokal yang bisa bersifat sebagai pemusat tegangan (*stress concentration*). Adanya pusat pusat tegangan ini dapat menyebabkan *Brittle* material yang menjadi patah pada beban dibawah *yield strength*.

Facture atau kepatahan pada suatu material bisa digolongkan sebagai *brittle* atau *ductile fracture*. Suatu material yang mengalami kepatahan tanpa mengalami suatu deformasi plastis dikatakan patah secara *brittle*, sedang apabila kepatahan didahului dengan suatu deformasi plastis dikatakan mengalami *ductile fracture*. Material yang mengalami *brittle fracture* hanya mampu menahan energi yang kecil saja sebelum mengalami kepatahan. Ketahanan suatu material menahan energi impak sangat dipengaruhi juga oleh temperatur. Efek dari temperatur terhadap kekuatan impak berbeda jenis material.

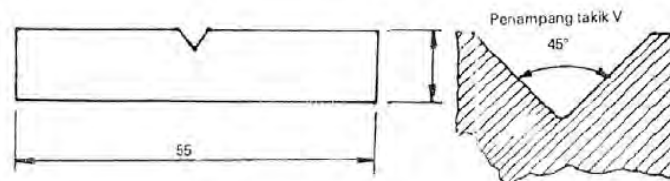
Takik atau *notch* memegang peranan yang penting terhadap kekuatan *impact* suatu material. Dua buah penampang yang mempunyai luas penampang yang sama dan penahan beban yang sama, akan mempunyai kekuatan *impact* yang selalu jauh berbeda akibat perbedaan bentuk takik yang dimiliki. Adanya takikan pada benda kerja yang bisa berupa bentuk konfigurasi hasil rancangan pekerjaan yang salah seperti diskontinuitas pada pengelasan atau korosi lokal, bisa bersifat sebagai pemusat tegangan (*stress concentrated*). Akibatnya dapat menyebabkan material yang *brittle* menjadi patah pada beban di bawah *yield strength*.



Gambar 2.12. Benda uji *Impact*.
[American Society for Testing and Materials, 2004]

Mesin uji *impact* adalah mesin uji untuk mengetahui harga impak suatu beban yang diakibatkan oleh gaya kejut pada bahan uji tersebut. tipe dan bentuk konstruksi mesin uji bentur beraneka ragam, yaitu mulai dari jenis konvensional sampai dengan sistem digital yang lebih maju.

Dalam pembebanan statis dapat juga terjadi laju deformasi yang tinggi kalau bahan diberi takikan. Semakin tajam takikan, maka akan semakin besar deformasi yang terkonsentrasikan pada takikan, yang memungkinkan peningkatan laju regangan beberapa kali lipat. Patah getas menjadi permasalahan penting pada baja dan besi. Pengujian *impact charpy* banyak dipergunakan untuk menentukan kualitas bahan. Benda uji takikan berbentuk V seperti Gambar 2.13. yang mempunyai keadaan takikan 2 mm banyak dipakai.



Gambar 2.13. Benda uji *Impact Charpy* bentuk “V”.
[www.alatuji.com, 2014]

Kuat *impact* atau nilai pukul *charpy* didefinisikan sebagai hasil bagi antara kerja pukul yang terpakai (energi *absorb*) dengan luas penampang mula-mula di bawah takik. Sedangkan energi absorb adalah energi bandul yang diserap oleh specimen uji. Dengan kata lain, adalah energi yang diperlukan untuk mematahkan specimen uji. Besarnya energi absorb ini dapat dibaca langsung dari jarum penunjuk pada mesin *impact*.

$$I = \frac{Ea}{CSAo}$$

dimana :

I = Kuat Impact (joule/mm²)

E = energi absorb (joule)

CSA_o = luas penampang di bawah takik (mm²)

Pada pengujian ini adalah suatu bahan uji yang ditakik, dipukul oleh pendulum (godam) yang mengayun. Dengan pengujian ini dapat diketahui sifat kegetasan suatu bahan. Cara ini dapat dilakukan dengan charpy atau cara izod. [American Society for Testing and Materials, 2004]

Metode pengujian *impact* yang umum dipakai di dunia ada dua macam, antara lain :

- metode *charpy* : Batang uji didudukkan pada kedua ujungnya dan diletakkan secara horizontal. Arah pukulan searah takikan. Lazim digunakan di Amerika.
- metode *izod* : Batang uji dijepit pada salah satu ujungnya, kemudian diletakkan secara vertikal. Arah pukulan berlawanan dengan arah takikan. Lazim digunakan di Inggris.

Besaran yang seringkali dihitung setelah pengujian *impact* adalah ekspansi lateral, yang merupakan ukuran kemampuan suatu material untuk mengakomodasi deformasi *plastis* akibat adanya takikan. Ekspansi *lateral* adalah selisih antara lebar specimen di bawah takik setelah dipukul dengan lebar mula-mula sebelum dipukul. Satuan untuk ekspansi *lateral* adalah mils, sehingga secara matematis dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$EL = \frac{B_t - B_o}{25,4} \times 1000 \quad (\text{mils})$$

dimana :

EL	=	ekspansi lateral	(mils)
B _t	=	lebar specimen pada takik setelah dipukul	(mm)
B _o	=	lebar specimen pada takik sebelum dipukul	(mm)

banyak energi, sehingga ekspansi *lateral*-nya besar. Sebaliknya material-material getas memiliki energi *absorb* rendah, sehingga ekspansi *lateral*-nya kecil.

2.11 Uji Metalografi

Struktur mikro adalah gambar atau konfigurasi distribusi fase-fase, yang apabila diamati dengan menggunakan mikroskop optic akan dapat dipelajari antara lain:

- Type Fase

Mewakili nama khas pada logam tertentu misalnya pada besi dapat berupa ferrit, perlit, eutectoid dan sebagainya.

- Ukuran butiran

Mewakili dimensi dari fase dibandingkan dengan dimensi lainnya, misalnya ukuran grafit dan ukuran butiran.

- Distribusi

Mewakili daerah penyebaran masing-masing fase diantara luasan yang menjadi pengamatan dalam sample tersebut.

- Orientasi.

Melalui pengujian metalografi maka dapat dilihat dan dianalisa struktur mikronya kemudian dapat dikaitkan dengan sifat material tersebut. Pembentukan struktur mikro erat kaitannya dengan proses pembuatan material tersebut, meliputi pemberian paduan dan perlakuan lanjut seperti perlakuan panas.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Pendahuluan

Dalam tugas akhir ini, yang diamati adalah perubahan yang terjadi pada material yang dilakukan proses pemanasan line heating. Untuk mendapatkan data yang digunakan dalam menyelesaikan tugas akhir ini yaitu dengan cara melakukan proses pemanasan *line heating* dengan mengacu pada IACS no.47 tahun 1996 *Shipbuilding and Repair Quality Standard* kemudian dilakukan pengujian (*Destructive Test*) yaitu pengujian yang dilakukan pada hasil pemanasan yang dapat mengakibatkan kerusakan pada material yang di uji. Pengujian ini bertujuan untuk memeriksa kekuatan pada material tersebut setelah dilakukan proses pemanasan. Kemudian dianalisa dari hasil pengujian tersebut apakah terjadi perubahan sifat mekanik dan struktur mikro pada material tersebut setelah dilakukan proses *line heating*. Untuk menjelaskan uraian tersebut, berikut diagram metodologi yang dilakukan pada tugas akhir ini seperti Gambar 3.2.

3.2 Material yang Digunakan

Dalam tugas akhir ini material yang digunakan ialah material baja ASTM A36 yang mana material tersebut sering digunakan untuk struktur bangunan kapal. Dikarenakan material ASTM A36 mempunyai *welding properties* yang sangat bagus dan cocok dalam proses *grinding, punching, tapping, drilling, dan machining*. Sehingga cocok untuk proses pembangunan bangunan kapal. Berikut Syarat komposisi kimia dari baja ASTM A36 dapat dilihat pada Tabel 3.1, sedangkan syarat uji tariknya dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.1. Syarat Komposisi Kimia Baja ASTM A36.

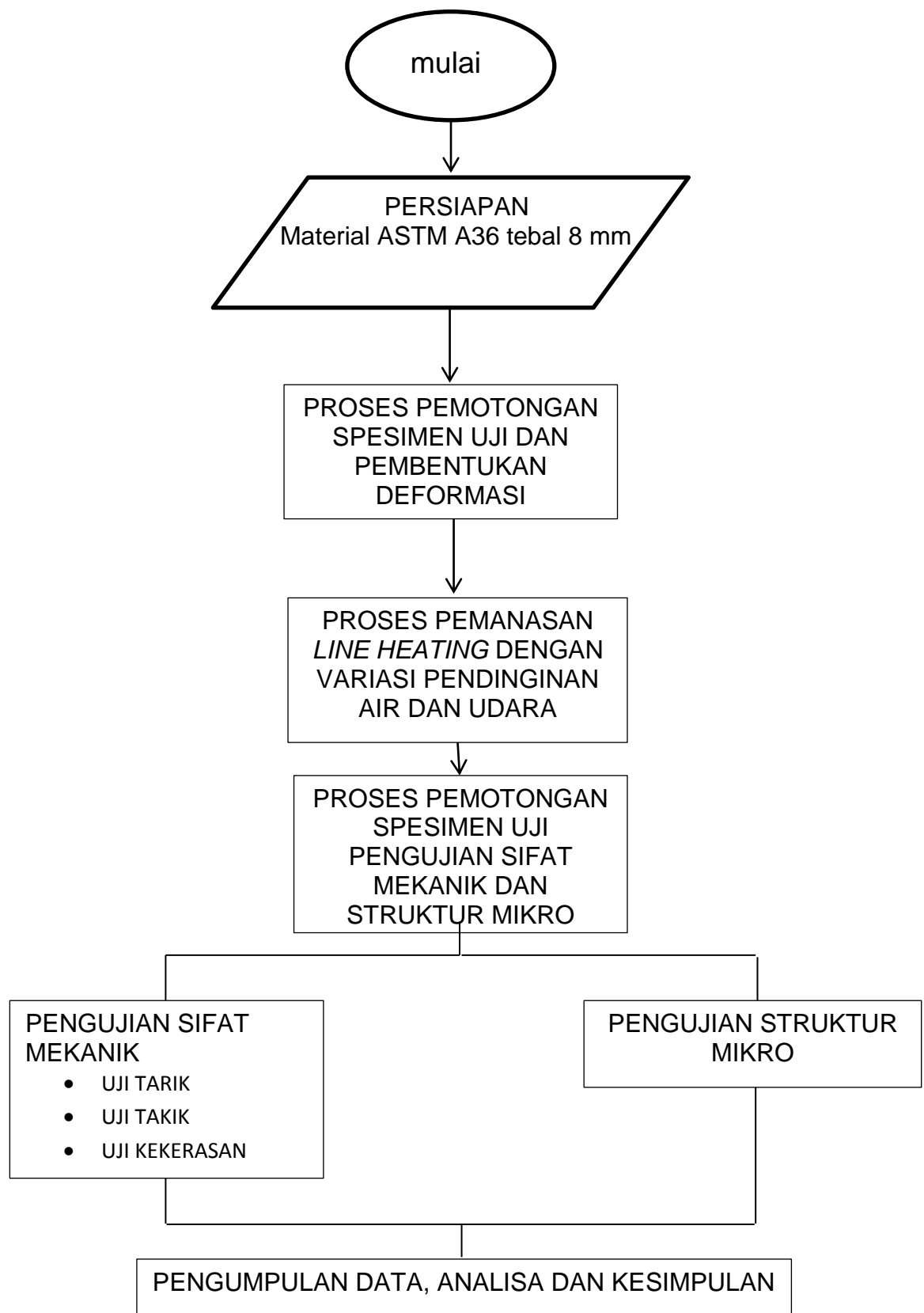
[American Society for Testing and Materials, 2004]

NOTE 1— Where “. . .” appears in this table, there is no requirement. The heat analysis for manganese shall be determined and reported as described in the heat analysis section of Specification A 6/A 6M.

Product	Shapes ^A	Plates ^B					Bars			
Thickness, in. [mm]	All	To ¾ [20], incl	Over ¾ to 1½ [20 to 40], incl	Over 1½ to 2½ [40 to 65], incl	Over 2½ to 4 [65 to 100], incl	Over 4 [100]	To ¾ [20], incl	Over ¾ to 1½ [20 to 40], incl	Over 1½ to 4 [100], incl	Over 4 [100]
Carbon, max, %	0.26	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29	0.26	0.27	0.28	0.29
Manganese, %	0.80–1.20	0.80–1.20	0.85–1.20	0.85–1.20	...	0.60–0.90	0.60–0.90	0.60–0.90
Phosphorus, max, %	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Sulfur, max, %	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicon, %	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.15–0.40	0.15–0.40	0.15–0.40	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.40 max
Copper, min, % when cop- per steel is specified	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

^A Manganese content of 0.85–1.35 % and silicon content of 0.15–0.40 % is required for shapes over 426 lb/ft [634 kg/m].

^B For each reduction of 0.01 percentage point below the specified carbon maximum, an increase of 0.06 percentage point manganese above the specified maximum will be permitted, up to the maximum of 1.35 %.



Gambar 3.2. Alur pengerjaan tugas akhir.

3.3 Peralatan Penelitian

Penelitian ini membutuhkan peralatan-peralatan yang memiliki fungsi tersendiri mulai dari persiapan material, proses pemanasan, pembentukan dan pemeriksaan spesimen uji yang sesuai.

Berikut adalah peralatan-peralatan yang digunakan selama penelitian, dengan spesifikasi dan keterangan yang tertera pada lampiran A.

Peralatan untuk persiapan material

1. Mesin pemotong pelat
2. Alat pengukur kelurusan
3. Gerinda
4. Kikir

Peralatan untuk proses pemanasan

1. Mesin blender / *scator machine*
2. Peralatan las *oxy-acetylene*
3. *Backing plate*
4. Alat pengukur suhu
5. Selang air
6. *Stop watch*
7. Penggaris
8. *Marker*

Peralatan untuk pembentukan specimen uji

1. Mesin gergaji
2. Mesin gerinda
3. Ragum
4. Mesin poles
5. Kertas gosok
6. Mesin scrap
7. Kikir
8. Jangka sorong

Peralatan untuk pemeriksaan metalografi (makro dan mikro)

1. Mikroskop digital

Peralatan untuk pengujian kekerasan *Rockwell B*

Kamera Digital

3.4 Proses Perlakuan Panas (*Line Heating*)

Pada tahap ini membahas mengenai persiapan sebelum melakukan proses line heating kemudian tahap perlakuan line heating. Dalam prosesnya dijelaskan mulai dari pemotongan pelat, pembengkokan specimen uji, dan kemudian proses pemanasan *Line Heating* dengan variasi pendinginan yaitu menggunakan *watercooling* dan *aircooling*.

3.4.1 Persiapan Perlakuan Panas

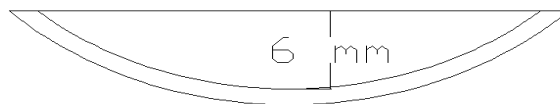
Sebelum dilakukan proses pemanasan pelat yang telah dilakukan pemotongan dilakukan proses pembengkokan agar dapat mewakili kondisi yang sesuai dengan *real* dilapangan. Untuk pedoman pembengkokan ini mengacu pada IACS no. 47 tahun 1996 *Shipbuilding and Repair Quality Standard* berikut Tabel deformasi yang digunakan.

Tabel 3.3. Batas deformasi yang diijinkan.

[Shipbuilding and Repair Quality Standard, 1996]

Item		Standard	Limit
Shell plate	Parallel part (side and bottom shell)	4mm	8mm
	Fore and after part	5mm	
Tank top plate		4mm	
Bulkhead	Longl. Bulkhead Trans. Bulkhead Swash Bulkhead	6mm	

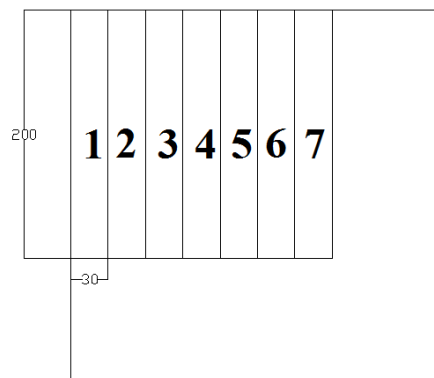
Untuk memenuhi deformasi tersebut plat yang akan dilakukan proses pemanasan *line heating* diberi deformasi sesuai dengan batas tabel diatas dan dalam tugas akhir ini dilakukan pemberian deformasi sebesar 6mm (Gambar 3.2.). berikut gambar ukuran pada specimen uji.



Gambar 3.3. Ukuran deformasi yang digunakan.

3.4.2 Pemotongan Pelat Uji

Sebelum dilakukan perlakuan panas pelat yang didapat sebelumnya dipotong dengan ukuran yang digunakan untuk perlakuan panas. Ukuran yang digunakan ialah 200x30 mm untuk masing-masing specimen uji, jumlah yang dibuat adalah 7 buah, 6 specimen untuk perlakuan panas dengan masing-masing 3 untuk setiap variasi pendinginan dan 1 spesimen untuk pembanding. berikut Gambar 3.3. alur pemotongan.

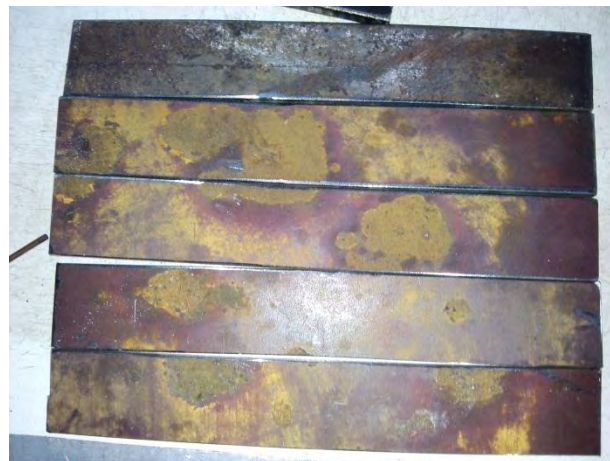


Gambar 3.4. Alur pemotongan.

Pemotongan dilakukan dengan mesin pemotong otomatis dengan ukuran yang sudah ditentukan. Ukuran tersebut dipakai agar memudahkan untuk proses pemanasan supaya proses *line heating* yang dilakukan sesuai dengan pengertian awal yang digunakan untuk mereparasi pelat yang telah terjadi deformasi. Selain itu ukuran tersebut dibuat karena kapasitas alat potong tidak dapat memenuhi lagi jika specimen terlalu panjang. Sehingga ukuran yang dipakai untuk tugas akhir ini dan gambar hasil pemotongan adalah:

Panjang : 200 mm

Lebar : 30 mm



Gambar 3.5. Hasil pemotongan.

3.4.3 Tahapan Pendeformasian Sampel Uji

Sebelum melakukan proses pemanasan *line heating* material tersebut harus dilakukan proses pembengkokan agar proses yang dilakukan dapat mempresentasikan kondisi pemanasan *line heating* yang dilakukan pada kondisi lapangan pemberian deformasi ini dilakukan pada semua specimen uji yang dibuat. Berikut tahap-tahap pemberian deformasi pada plat uji.

1. Menyiapkan specimen yang akan diberi deformasi
2. Pasang specimen tersebut ke mesin uji bending, gunakan diameter kecil pada penumpu untuk memberikan deformasi yang diinginkan seperti Gambar 3.5.



Gambar 3.6. Specimen pada mesin bending.

3. Buat mal untuk memberi acuan plat yang dibending telah sesuai dengan deformasi yang diinginkan yaitu sebesar 6mm seperti Gambar 3.6.



Gambar 3.7. mal.

4. Berikan beban pada mesin bending hingga terjadi deformasi sebesar 6mm dilihat pada alat mesin bending tersebut kemudian tahan agar deformasi yang terjadi sesuai dengan yang diinginkan jika deoformasi yang terjadi kurang maka dilakukan pembebanan kembali sampai deformasi yang diinginkan tercapai.

5. Material uji siap dilakukan proses pemanasan *Line Heating*. Seperti Gambar berikut:



Gambar 3.8. hasil pembentukan deformasi.

3.4.4 Proses Perlakuan Panas (*Line Heating*)

Pada tahapan ini, pelat yang telah dilakukan deformasi dengan ukuran yang dibuat maka selanjutnya akan dilakukan proses pemanasan. Pada percobaan ini dilakukan di Laboratorium Produksi Kapal Jurusan Teknik Perkapalan ITS. Dalam pemanasan yang dilakukan ada perbedaan pada variasi pendinginan yang dilakukan maka dalam pembahasannya akan dibagi dalam dua bahasan yaitu dengan variasi pendinginan *watercooling* dan *aircooling*. Untuk proses pendinginan itu sendiri mengacu pada IACS no. 47 tahun 1996 *Shipbuilding and Repair Quality Standard* variasi tersebut meliputi suhu yang digunakan dengan pendinginan yang dilakukan berikut standard yang digunakan pada *rules* IACS no. 47 tahun 1996 *Shipbuilding and Repair Quality Standard*:

Tabel 3.4. *maximum heating temperature on surface for line heating.*

[Shipbuilding and Repair Quality Standard, 1996]

Item		Standard
Conventional Proses AH32-EH32 and AH36-EH36	Water cooling just after heating	Under 650°C
	Air Cooling after heating	Under 900°C

Dari Tabel diatas dijelaskan bahwa pemanasan *line heating* dengan menggunakan pendinginan air maka suhu yang digunakan dibawah 650°C sedangkan pemanasan *lien heating* dengan menggunakan pendinginan udara menggunakan suhu dibawah 900°C oleh karena itu pada tugas akhir ini, untuk pemanasan line heating digunakan suhu sebagai berikut:

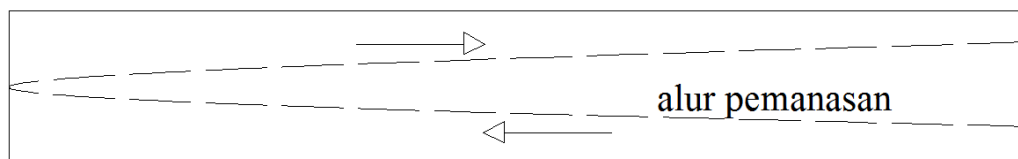
1. Pemanasan dengan pendinginan air menggunakan suhu $\pm 600^{\circ}\text{C}$
2. Pemanasan dengan pendinginan udara menggunakan suhu $\pm 800^{\circ}\text{C}$

Berikut tahapan untuk proses pemanasan line heating dengan masing-masing variasi pendinginan yang digunakan.

3.4.4.1. Perlakuan Panas dengan Variasi Pendinginan dengan Air

Untuk proses pemanasan *Line Heating* dengan menggunakan pendinginan air tahap-tahap yang dilakukan untuk melakukan proses pemanasan ialah sebagai berikut:

1. Persiapkan alat untuk melakukan pemanasan line heating seperti alat scator, peralatan las *oxy-acetylene* dan selang air.
2. Pasang semua peralatan antara alat pemanasan dengan gas *oxy-acetylene*.
3. Atur panas yang digunakan agar tidak terjadi pemotongan pada saat proses pemanasan.
4. Atur debit air yang digunakan agar tidak terlalu deras dan tidak terlalu lamban debit air yang digunakan pada tugas akhir ini adalah 36.67 ml/s. kecepatan ini didapat dengan cara mengukur air yang masuk kedalam gelas ukur dalam satuan detik dan hasilnya yang didapat ialah debit yang digunakan 15 detik untuk mengisi gelas ukur sebesar 550 ml.
5. Letakan specimen uji pada *backing plate* agar specimen berada pada kondisi yang benar-beanr lurus dan agar bisa terlihat ketika specimen tersebut telah kembali lurus akibat perlakuan panas yang diberikan.
6. Lakukan proses pemanasan pada specimen uji yang telah diletakkan pada backing plate dengan alur dua kali jalan artinya perlakuan panas yang diberikan pada pelat tersebut dua kali sesuai dengan batasan yang diberikan pada tugas akhir ini alur tersebut dijelaskan pada Gambar berikut.



Gambar 3.9. Alur pemanasan.

7. Pemanasan dimulai ketika panas yang diberikan sudah mencapai batas ijin yang diberikan, untuk variasi pendinginan menggunakan air suhu yang dipakai ialah 600°C ketika telah mencapai suhu tersebut maka line heating tersebut berjalan waktu yang dicatat untuk rekap adalah waktu yang dicapai ketika specimen tersebut dilakukan pemanasan bolak-balik dari ujung pertama mulai bergerak hingga kembali ketempat

semula dan untuk kecepatan yang dipakai dapat didapat dari panjang specimen dibagi dengan waktu yang dipakai pada saat pemanasan dilakukan. Berikut data yang didapat dalam proses pemanasan:

Tabel 3.5. Rekap pemanasan.

Spesimen uji	Waktu yang digunakan	Waktu rata-rata	kecepatan	Kecepatan rata-rata
1	6 menit 42 detik	7 menit 31 detik	0.498 mm/s	0.443 mm/s
2	7 menit 54 detik		0.422 mm/s	
3	7 menit 59 detik		0.418 mm/s	

8. Pada saat proses pemanasan suhu harus dikontrol apakah melebihi atau tidak dari persyaratan yang dilakukan. Ketika suhu melebihi suhu yang diijinkan maka kecepatan pemanasan akan dipercepat sebaliknya jika pemanasan yang dilakukan kurang atau terlalu sedikit maka kecepatan yang digunakan diperlambat. Seperti Gambar dibawah ini:



Gambar 3.10. Pengontrolan suhu.

9. Selanjutnya jika telah dilakukan dua kali pemanasan maka selanjutnya diganti dengan specimen selanjutnya begitu seterusnya hingga ketiga specimen tersebut selesai dilakukan proses pemanasan *line heating*. Seperti Gambar 3.10. specimen yang telah dilakukan proses pemanasan.

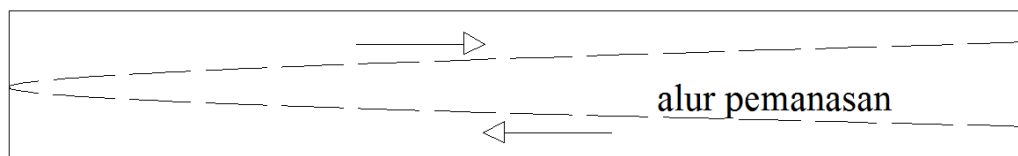


Gambar 3.11. hasil proses pemanasan.

3.4.4.2. Perlakuan Panas dengan Variasi Pendinginan *Aircooling*

Untuk pemanasan dengan menggunakan pendinginan udara memiliki proses yang sama dengan proses pemanasan dengan pendinginan menggunakan air namun perbedaannya terletak pada suhu yang digunakan dan pada proses pendinginannya. Berikut tahap-tahap perlakuan panas dengan variasi pendingin udara:

1. Persiapkan alat yang digunakan untuk melakukan proses pemanasan *line heating* seperti mesin scator, gas *oxy-acetylene*.
2. Pasang semua alat untuk proses pemanasan *line heating*.
3. Letakan specimen uji pada *backing plate* agar specimen berada pada kondisi yang benar-benar lurus dan agar bisa terlihat ketika specimen tersebut telah kembali lurus akibat perlakuan panas yang diberikan.
4. Lakukan proses pemanasan pada specimen uji yang telah diletakkan pada *backing plate* dengan alur dua kali jalan artinya perlakuan panas yang diberikan pada pelat tersebut dua kali sesuai dengan batasan yang diberikan pada tugas akhir ini alur tersebut dijelaskan pada Gambar berikut.



Gambar 3.12. Alur pemanasan.

5. Rekap hasil pemanasan yang dilakukan selama proses pemanasan berlangsung catat dan rekap hasilnya untuk mencarinya proses sama dengan proses pemanasan dengan variasi pendinginan menggunakan air dimana kecepatan yang diperoleh didapat dari

jarak yang ditempuh dibagi dengan waktu yang dicapai. Berikut Tabel rekap yang telah dilakukan:

Tabel 3.6. Rekap hasil pemanasan.

Spesimen uji	Waktu yang digunakan	Waktu rata-rata	kecepatan	Kecepatan rata-rata
1	15 menit 07 detik	14 menit 35 detik	0.220 mm/s	0.229 mm/s
2	14 menit 22 detik		0.232 mm/s	
3	14 menit 15 detik		0.234 mm/s	

6. Pada saat proses pemanasan suhu harus dikontrol apakah melebihi atau tidak dari persaratan yang dilakukan. Ketika suhu melebihi suhu yang diijinkan maka kecepatan pemanasan akan dipercepat sebaliknya jika pemanasan yang dilakukan kurang atau terlalu sedikit maka kecepatan yang digunakan diperlambat. Seperti Gambar dibawah ini:



Gambar 3.13. Pengontrolan suhu.

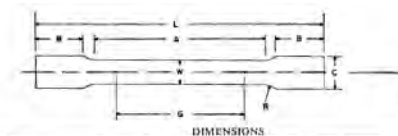
7. Selanjutnya jika telah dilakukan dua kali pemanasan maka selanjutnya diganti dengan specimen selanjutnya begitu seterusnya hingga ketiga specimen tersebut selesai dilakukan proses pemanasan *line heating*. Seperti Gambar 3.14. specimen yang telah dilakukan proses pemanasan.



Gambar 3.14. Hasil proses pemanasan.

3.4.5 Proses Pembuatan Spesimen

Standar dasar pada penentuan ukuran utama *test piece* untuk material *low carbon* ada pada ASTM A370. Standar tersebut meliputi ukuran *tensile test* dan *impact*. Untuk *hardness test* dan *microetch test* ukuran tidak ditentukan asalkan pengujian dapat dijalankan dengan baik. Berikut standard ukuran uji tarik dari standard ASTM A370:



	Standard Specimens				Subsize Specimen	
	Plate Type, 1/16-in. Wide		Sheet Type, 1/16-in. Wide		1/16-in. Wide	
	in.	mm	in.	mm	in.	mm
G—Gage length (Notes 1 and 2)	8.00 ± 0.01	200 ± 0.25	2.000 ± 0.005	50.0 ± 0.10	1.000 ± 0.003	25.0 ± 0.08
W—Width (Notes 3, 4, and 5)	1/16 ± 1/32	40 ± 3	0.500 ± 0.010	12.5 ± 0.25	0.250 ± 0.002	6.25 ± 0.05
T—Thickness (Note 6)	—	—	—	—	—	—
R—Radius of fillet, min	1/8	15	1/8	15	1/8	15
L—Over-all length, min (Notes 2 and 7)	16	400	8	200	4	100
A—Length of reduced section, min	9	225	2 1/4	60	1 1/4	32
B—Length of grip section, min (Note 8)	3	75	2	50	1 1/4	32
C—Width of grip section, approximate (Notes 4, 9, and 10)	2	50	1/4	20	1/4	10

NOTE 1—For the 1/16-in. (40-mm) wide specimen, punch marks for measuring elongation after fracture shall be made on the flat or on the edge of the specimen and within the reduced section. Either a set of six or more punch marks 1 in. (25 mm) apart, or one or more pairs of punch marks 8 in. (200 mm) apart may be used.

NOTE 2—When elongation measurements of 1/16-in. (40-mm) wide specimens are required, a gage length (G) of 2.000 in. ± 0.005 in. (50.0 mm ± 0.10 mm) with all other dimensions similar to the plate-type specimen may be used.

NOTE 3—For the three sizes of specimens, the ends of the reduced section shall not differ in width by more than 0.004, 0.002 or 0.001 in. (0.10, 0.05 or 0.025 mm), respectively. Also, there may be a gradual decrease in width from the ends to the center, but the width at either end shall not be more than 0.015 in., 0.005 in., or 0.003 in. (0.40, 0.10 or 0.08 mm), respectively, larger than the width at the center.

NOTE 4—For each of the three sizes of specimens, narrower widths (W and C) may be used when necessary, but such cases the width of the reduced section should be as large as the width of the material being tested permits; however, unless

Gambar 3.15. Standard pengujian tarik ASTM A370.



Gambar 3.16. Test piece uji tarik.

Pembuatan spesimen dikerjakan dengan menggunakan mesin scrap kemudian dilakukan finishing dengan mesin grinda. Dimana tiap specimen harus halus permukaannya. Hal itu dilakukan sesuai dengan standard ASTM A370 untuk memudahkan interpretasi pada hasil pengujian.

3.4.6 Proses Pengujian

Pengambilan *test piece* untuk pengujian kedua specimen variasi pendinginan didasarkan pada rules ASTM tahun 2004. Detail pengambilan *test piece* dapat dilihat pada rules ASTM A370. Pengujian yang dilakukan pada tugas akhir ini meliputi pengujian merusak (DT) berupa pengujian tarik, pengujian takik, mikro etsa, serta pengujian kekerasan. Berikut pengujian yang dilakukan pada tugas akhir ini:

3.4.6.1 Pengujian Tarik

Pada tugas akhir ini, pengujian tarik (*tensile test*) ini menggunakan material pelat tipis (*flat bar*) dengan ukuran dan spesifikasi sebagai berikut:

- panjang (L_0) : 50 mm
- lebar : 12,25 mm
- tebal : 8,00 mm

Setelah semua peralatan dan *test piece* lengkap, maka kita dapat memulai percobaan uji tarik ini. Adapun langkah-langkah pengujiannya antara lain sebagai berikut:

1. Pelat diukur panjang, tebal, lebar dan hitung *Cross Section Area* (CSA) nya sebagai A_0 .
2. Beri tanda pada sisinya untuk menandai L_0 ditandai pada tiga lokasi, untuk mencegah kejadian L_1 tidak terbaca akibat patah di tempat tersebut. Skala pembebanan pada mesin uji yang diamati disesuaikan dengan beban yang dipasang



Gambar 3.17. Skala pembebanan.

3. *Test piece* dipasang pada mesin uji tarik, ujung-ujungnya dijepit dengan pencekam dari mesin tarik dan ditarik kearah memanjang secara perlahan.

4. Selama penarikan, kondisi dari *test piece* akan dicatat dalam bentuk grafik tegangan-regangan yang dipasang pada mesin tarik, yang dipengaruhi oleh besarnya gaya tarik yang bekerja serta besarnya pertambahan panjang yang terjadi sebagai akibat dari gaya tarik tersebut.
5. Saat grafik mulai memasuki *area* plastis catat nilainya sebagai *F yield* Setelah *test piece* putus catat nilai maksimum dari grafik sebagai *F ultimate*.

3.4.6.2 Pengujian Impact Charpy

Pada tugas akhir ini, pengujian takik (*impact test*) ini menggunakan material pelat tipis (*flat bar*) spesimen dibuat berdasarkan standard ASTM A370 seperti gambar 3.18 dengan ukuran dan spesifikasi sebagai berikut :

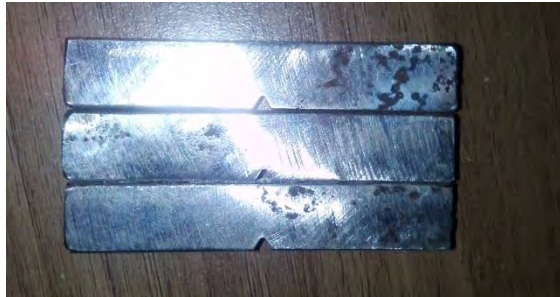
$$L = 55 \text{ mm}$$

$$T = 10 \text{ mm}$$

$$B = 7.5 \text{ mm}$$

Setelah specimen yang dibutuhkan telah siap di tahap persiapan, barulah pengujian Impact dapat segera dilaksanakan sesuai prosedur berikut:

1. Pengujian impact dapat dilakukan pada kisaran suhu 100°C sampai -50°C. Untuk percobaan kali ini akan dilakukan pada suhu 30°C.
2. Spesimen yang akan diuji harus diukur kembali dimensinya menggunakan jangka sorong. Ulangi agar lebih teliti dalam pengukurannya.
3. Letakkan spesimen pada landasan, celah dari *notch* harus berada tepat ditengah-tengah menggunakan *centre notch* dengan arah menghadap ke dalam.
4. Bandul (beban) dinaikkan setinggi h atau sebesar sudut α (disini diambil sekitar 156 derajat).
5. Atur posisi jarum penunjuk pada posisi nol.
6. Bandul dilepas hingga memukul spesimen
7. Setelah memukul specimen, bandul masih akan terayun setinggi h atau sebesar sudut β , amati dan catat dalam tabel pengamatan.
8. Energi yang digunakan untuk mematahkan spesimen dapat dilihat pada jarum skala penunjuk dan dicatat dalam tabel hasil pengamatan, atau dihitung secara teoretis dengan rumus yang telah diberikan.



Gambar 3.18. Specimen uji impact.

3.4.6.3 Pengujian Kekerasan

Untuk pengujian ini, specimen yang digunakan sama dengan pengujian struktur mikro sebelum dilakukan proses pengujian material yang ingin diuji harus dilakukan pemolesan pada material tersebut hingga mencapai kertas amplas grade 2000 dengan menggunakan mesin poles untuk masing-masing variasi dilakukan tiga titik penekanan. Adapun langkah-langkah dari pengujian kekerasan Rockwell adalah sebagai berikut:

1. Siapkan material yang akan dilakukan pengujian.
2. Permukaan (atas dan bawah) specimen harus datar, halus, serta bebas dari kotoran, minyak, benda asing, maupun cacat.
3. Memasang indenter pada pemegang indenter.
4. Menempatkan indenter pada mesin.
5. Dashpot/pengatur beban diatur pada pembebanan 100 kg (untuk Rockwell B)
6. Putarlah handwheel untuk mengangkat landasan dengan perlahan untuk menaikkan penetrator sampai penunjuk kecilnya berada pada tanda merah dan penunjuk besarnya berputar tiga kali dan berhentilah dengan arah vertical.
7. Tekan handle untuk mengaplikasikan gaya uji utama, pada saat itu penunjuk besar dari indicator berputar berlawanan dengan arah jarum jam.
8. Ketika penunjuk indicator berhenti, doronglah handle pelepasnya dengan perlahan untuk melepaskan gaya uji utamanya.
9. Melihat angka kekerasan pada skala dial di mesin (skala merah untuk Rockwell B dan skala hitam untuk Rockwell C).
10. Putarlah handwheel untuk menurunkan dan mengambil benda uji. Apabila ingin mengadakan pengujian baru, ulangi menurut prosedur nomor 5-9 seperti dijelaskan di atas.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan proses perlakuan panas *line heating* serta dilakukan proses pengujian pada material ASTM A36 yang sesuai dengan rancangan metodologi penelitian yang telah dibuat, maka dihasilkan data-data yang diperlukan untuk analisa guna menunjukkan adanya perubahan-perubahan yang terjadi. Pada bab ini akan dibahas mengenai analisa terhadap data-data yang telah diperoleh dari hasil pengujian, data yang didapat meliputi hasil uji tarik, uji impact, uji kekerasan dan pengamatan foto mikro.

4.1 Analisa Hasil Uji Tarik (*Tensile Test*)

Setelah dilakukan proses pemanasan pada specimen uji pada material tersebut selanjutnya dilakukan proses uji tarik, sehingga dapat diketahui besarnya gaya tarik maksimum yang diperlukan untuk mematahkan specimen dengan melihat jarum petunjuk yang ada pada mesin uji tarik. *Elongation* dan besarnya gaya yield yang dapat dilihat dari grafik beban-pertambahan panjang (grafik $P - \Delta L$). Grafik tersebut digunakan untuk menggambarkan kemampuan specimen uji untuk menerima beban gaya, serta perubahan panjang yang dialami specimen setelah dilakukan proses penarikan sampai putus dengan cara mengukur daerah patahan (*gauge length*) setelah specimen patah. Diagram tersebut terdiri dari absis tegangan dan ordinat regangan yang terjadi pada saat proses pengujian. Dimana tegangan regangan tersebut dibagi dua daerah yaitu daerah elastic dan daerah plastic dan yang menjadi batas kedua daerah tersebut adalah titik luluh atau disebut juga (*yield point*) Untuk mengetahui besarnya gaya tarik tegangan maksimum (σ_{ultm}), dan tegangan *yield* (σ_{yield}) serta besarnya dan *reduction of area* dapat dicari melalui persamaan:

- Kuat Tarik *Maximum* (*Ultimate Tensile Strength*)

$$UTS = \frac{P_{max}}{CSA} \quad (kgf/mm^2)$$

dimana :

P_{max} = *maximum load*, yaitu beban yang dibaca dari mesin uji dengan satuan KN (kilo newton).

CSA =luas penampang mula-mula dari material uji (mm^2), untuk pelat persegi (*rectangular*) $CSA = lebar \times tebal \text{ test piece}$.

- Kuat Luluh (*Yield Strength*)

$$Y.S = \frac{P_y}{CSA} \quad (\text{kgf/mm}^2)$$

dimana :

P_y = tegangan minimum dimana *test piece* terdeformasi tanpa mengalami penambahan beban yang berarti.

– Regangan (*Elongation*)

$$\varepsilon = \left(\frac{L_1 - L_0}{L_0} \right) \times 100\%$$

dimana : ε = regangan (*elongation*)

L_0 = panjang ukur mula-mula (mm)

L_1 = panjang ukur setelah putus (mm)

– Pengurangan Luas Penampang (*Reduction of Area*)

$$RoA = \left(\frac{A_0 - A_1}{A_0} \right) \times 100\%$$

dimana :

RoA = *reduction of area*

A_0 = luas penampang mula-mula (mm²)

A_1 = luas penampang terkecil pada daerah patahan (mm²)

Dengan menggunakan data-data yang didapat dari hasil pengujian, selanjutnya dilakukan perhitungan menggunakan persamaan diatas sehingga diperoleh karakteristik pengujian tarik pada masing-masing perlakuan panas dan yang tanpa perlakuan panas. Berikut tabulasi hasil dari pengujian tarik:

Tabel 4.1. Hasil Pengujian Tarik.

No. spesimen	Perlakuan pemanasan	UTS (σ_{ultm}) (MPa)	Yield stress (σ_{yield}) (MPa)	Elongation (%)	Reduction of Area (%)
1	Watercooling	559.01	465.67	22.36	62.59
2	suhu $\pm 600^\circ\text{C}$	578.18	478.91	20.64	57.61
3	Aircooling	508.96	339.05	29.36	69.32
4	Suhu $\pm 800^\circ\text{C}$	518.94	392.88	28.18	66.79
5	Non treatment	556.56	483.53	23.80	55.38

Keterangan tabel:

(σ_{yield}) = Tegangan Yield ,UTS (σ_{ultm}) = Tegangan tarik maksimum

Dari Tabel 4.1 di atas, menunjukkan bahwa tegangan maksimum atau yang disebut dengan kekuatan tarik dari material tersebut yang telah dilakukan proses pemanasan menunjukkan adanya perbedaan pada sampel yang tidak dilakukan perlakuan pemanasan. Harga tegangan maksimum pada material yang dilakukan proses pemanasan dengan menggunakan pendinginan air mengalami peningkatan sedangkan pada material yang dikenai perlakuan panas dengan menggunakan pendinginan udara mengalami penurunan tegangan maksimum. Namun, harga *elongation* untuk proses perlakuan panas dengan menggunakan pendinginan udara memiliki harga yang paling tinggi dibandingkan dengan perlakuan panas dengan pendinginan air maupun material yang *non treatment*, sedangkan harga *elongation* untuk proses perlakuan panas dengan menggunakan pendinginan air memiliki harga yang paling rendah diantara variasi yang lain.

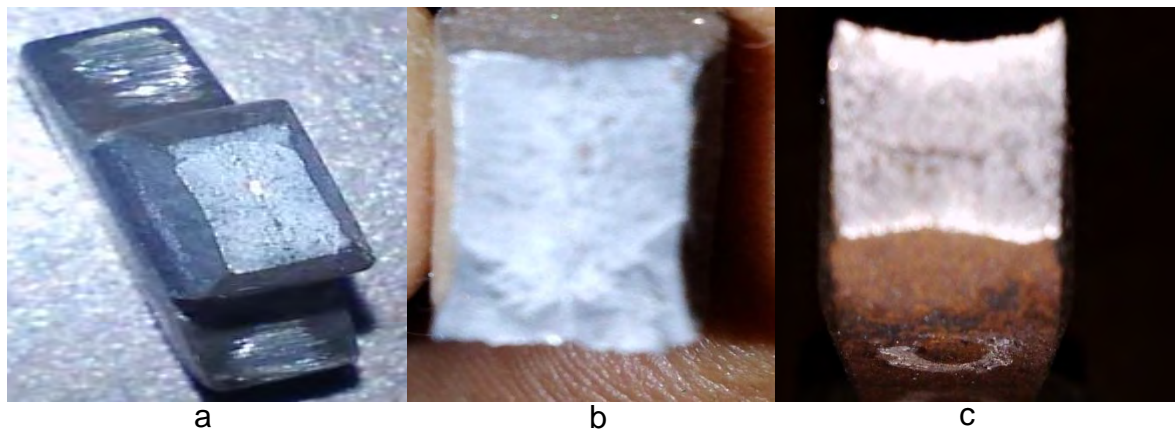
Tabel 4.2. Persentase perubahan kuat tarik, elongation dan reduction of area material tanpa perlakuan panas dan dengan perlakuan panas.

Variasi pemanasan	Tegangan tarik maksimum		Tegangan Yield		Elongation		Reduction of area	
	Harga rata-rata (MPa)	Kenaikan/penurunan (%)	Harga rata-rata (MPa)	penurunan (%)	Harga rata-rata (%)	Kenaikan/penurunan (%)	Harga rata-rata (%)	Kenaikan (%)
Watercooling suhu $\pm 600^{\circ}\text{C}$	568.59	2.16%	472.29	2.32	21.5	- 9.66%	60.10	8.52%
Aircooling suhu $\pm 800^{\circ}\text{C}$	513.93	- 7.83%	365.97	24.31	28.77	20.88%	68.06	22.87%
Non treatment	556.56	-	483.53	-	23.8	-	55.38	-

Dari Tabel 4.2 di atas, material yang tidak dilakukan proses pemanasan memiliki tegangan tarik maksimum sebesar 556.56 MPa, tegangan yield sebesar 483.53 MPa, elongation sebesar 23.8%, dan reduction of area sebesar 55.38%. Untuk perlakuan pemanasan watercooling dengan menggunakan suhu $\pm 600^{\circ}\text{C}$ memiliki tegangan tarik maksimum sebesar 568.59 MPa atau kenaikan sebesar 2.16%, untuk tegangan yield memiliki harga rata-rata sebesar 472.29 MPa atau penurunan sebesar 2.16%, untuk elongation memiliki harga rata-rata sebesar 21.5% atau penurunan sebesar 9.66%, dan untuk reduction of area

memiliki rata-rata sebesar 60.10% atau kenaikan sebesar 8.52% dari material yang tidak mengalami perlakuan panas apapun. Sedangkan untuk perlakuan panas aircooling dengan menggunakan suhu $\pm 800^{\circ}\text{C}$ memiliki rata-rata tegangan tarik maksimum sebesar 513.93 MPa atau penurunan sebesar 7.83%, untuk tegangan yield memiliki harga rata-rata sebesar 365.97 MPa atau penurunan sebesar 24.31%, untuk elongation memiliki rata-rata sebesar 28.77% atau kenaikan sebesar 20.88%, dan untuk reduction of area memiliki rata-rata sebesar 68.06% atau kenaikan sebesar 22.87% dari material yang tanpa dilakukan perlakuan panas.

Untuk mengetahui sifat material secara visual, dapat dilihat dengan mengamati bentuk patahan pada material yang telah dilakukan proses pengujian tarik. Bentuk patahan dengan berbagai variasi pemanasan dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



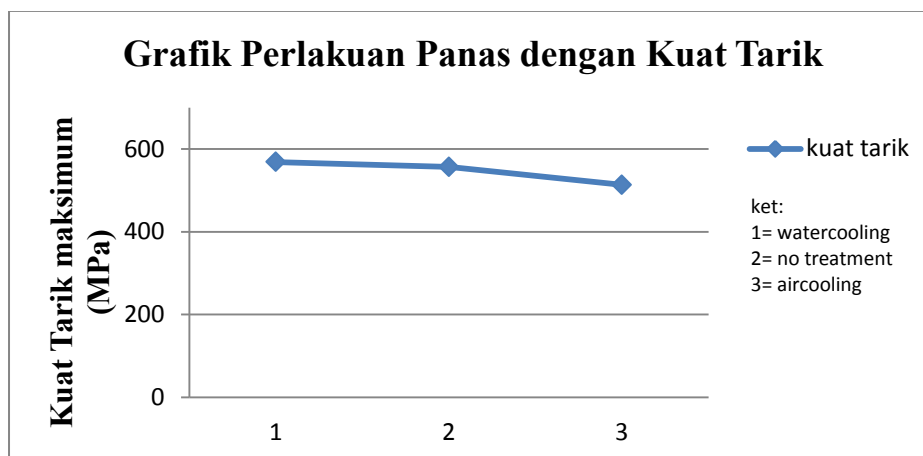
Gambar 4.1. (a) material dengan pendinginan air (b) material dengan pendinginan udara (c) tanpa perlakuan.

Dari gambar diatas, bentuk patahan yang terjadi pada specimen pengujian memiliki patahan yang berbentuk serabut untuk specimen dengan tanpa perlakuan sedangkan material dengan perlakuan panas memiliki bentuk patahan yang berupa serabut dengan granular maka dapat menunjukkan bahwa telah terjadi perubahan yang terjadi ketika dilakukan perlakuan panas meskipun perubahan tersebut hanya memiliki prosentasi yang kecil.

Pada bab sebelumnya telah dijelaskan bahwa proses pemanasan Line Heating yang dilakukan dengan suhu $\pm 600^{\circ}\text{C}$ dan $\pm 800^{\circ}\text{C}$ dan dengan masing-masing proses pendinginannya. Untuk suhu $\pm 600^{\circ}\text{C}$ dengan pendinginan menggunakan media air dengan kecepatan 36.67 ml/s, mengalami peningkatan kuat tarik, penurunan elongation dan peningkatan reduction of area. Sedangkan untuk suhu $\pm 800^{\circ}\text{C}$ dengan pendinginan menggunakan media udara, mengalami penurunan kuat tarik, peningkatan elongation dan

reduction of area. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa peningkatan kuat tarik akan terjadi ketika dilakukan proses pendinginan cepat sebaliknya jika mengalami pendinginan lambat maka kuat tarik akan cenderung menurun.

Dari data yang diperoleh di atas dapat disimpulkan bahwa tingginya temperature pemanasan yang diikuti dengan proses pendinginan yang cepat akan menyebabkan peningkatan kuat tarik pada material tersebut, elongation menurun dan reduction of area meningkat hal tersebut terjadi pada proses pemanasan dengan suhu $\pm 600^{\circ}\text{C}$ pendinginan dengan menggunakan media air, penurunan elongation itu menunjukkan material tersebut semakin menjadi getas. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa peningkatan kuat tarik sangat berarti bila dilakukan proses pemanasan dan diikuti dengan proses pendinginan yang cepat pula. Sedangkan dengan pendinginan yang lambat, terjadi peningkatan pada proses pemanasan dengan suhu $\pm 800^{\circ}\text{C}$ dengan pendinginan udara yang memiliki harga kuat tarik yang cenderung menurun namun elongation dan reduction of area pada material tersebut meningkat hal itu menunjukkan bahwa proses pendinginan lamban menyebabkan material lebih ulet/ductile. Peningkatan dan penurunan kuat tarik pada material dapat digambarkan dengan grafik dibawah ini:



Gambar 4.2. Grafik perlakuan panas dengan kuat tarik.

4.2 Analisa Hasil Uji Impact Charpy

Selanjutnya adalah analisa pengujian impact, dimana kuat *impact* atau nilai pukul *charpy* didefinisikan sebagai hasil bagi antara kerja pukul yang terpakai (energi *absorb*) dengan luas penampang mula-mula di bawah takik. Sedangkan energi absorb adalah energi bandul yang diserap oleh specimen uji. Dengan kata lain, adalah energi yang diperlukan untuk mematahkan specimen uji. Besarnya energi absorb ini dapat dibaca langsung dari jarum penunjuk pada mesin *impact*.

$$I = \frac{Ea}{CSAo}$$

dimana :

I = Kuat Impact (joule/mm²)

E = energi absorb (joule)

A = luas penampang di bawah takik (mm²)

Ekspansi *lateral* adalah selisih antara lebar specimen di bawah takik setelah dipukul dengan lebar mula-mula sebelum dipukul. Satuan untuk ekspansi *lateral* adalah mils, sehingga secara matematis dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$EL = \frac{Bt - Bo}{25,4} \times 1000 \quad (\text{mils})$$

dimana :

EL = ekspansi lateral (mils)

Bt = lebar specimen pada takik setelah dipukul (mm)

Bo = lebar specimen pada takik sebelum dipukul (mm)

Dengan menggunakan data-data yang didapat dari hasil pengujian, selanjutnya dilakukan perhitungan menggunakan persamaan diatas, sehingga diperoleh karakteristik pengujian impact pada masing-masing perlakuan panas dan yang tanpa perlakuan panas. Berikut tabulasi hasil dari pengujian impact:

Tabel 4.3. Hasil pengujian impact.

No spesimen	variasi pemanasan	CSA (mm ²)	E (J)	Kuat Impact (J/mm ²)	LE (mils)
1	Watercooling suhu ± 600°C	65.79	120	1.82	29.10
2		64.63	105.5	1.63	31.90
3		65.13	95	1.46	26.38
4	Aircooling suhu ± 800°C	64.49	105	1.63	30.30
5		64.83	110	1.70	35.40
6		64.31	111	1.73	31.90
7	Non treatment	62.28	101	1.62	56.69
8		60.33	91.5	1.52	46.06
9		61.11	83.5	1.37	51.18

Keterangan tabel:

CSA = luas penampang dibawah takikan

E = banyaknya energy yang diperlukan untuk mematahkan spesimen

LE = ekspansi lateral

Dari Tabel 4.3 di atas menunjukkan bahwa kuat impact mengalami peningkatan pada setiap variasi pendinginan yang dilakukan dibandingkan dengan material yang tanpa perlakuan apapun meskipun peningkatan yang terjadi tidaklah terlalu banyak perbedaannya. Sedangkan untuk perubahan ekspansi lateral yang terjadi pada material yang dilakukan proses pemanasan dengan variasi pendinginan mengalami perubahan yaitu penurunan nilai ekspansi lateralnya. Hal ini menunjukkan material yang dilakukan proses pemanasan cenderung memiliki harga kuat impact yang lebih tinggi dari pada material sebelumnya sebaliknya pada harga ekspansi lateralnya akan mengalami penurunan akibat perlakuan panas.

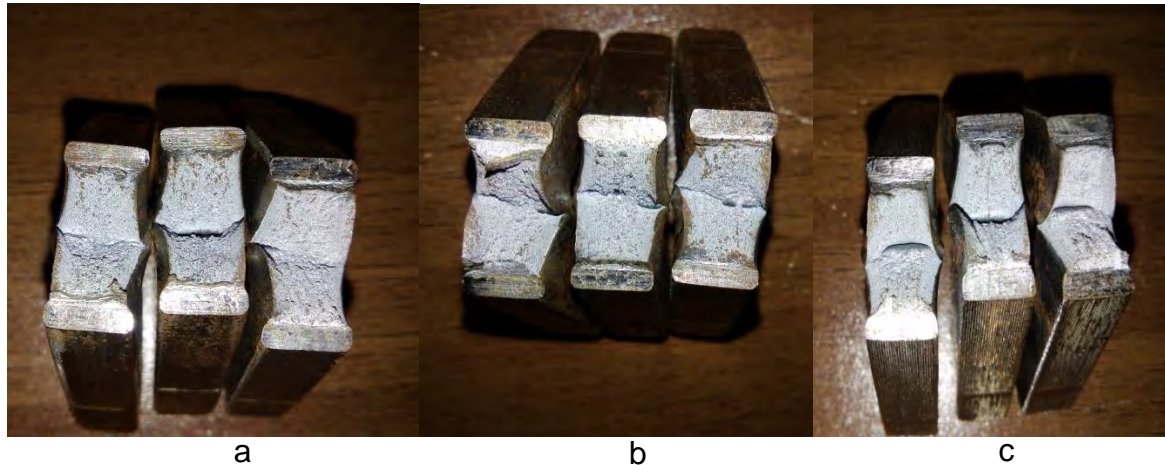
Tabel 4.4. Persentase perubahan kuat impact dengan ekspansi lateral material perlakuan panas dengan tanpa perlakuan panas.

No specimen	Variasi pemanasan	Energy Absorb		Kuat impact (J/mm ²)		Ekspansi Lateral (mils)	
		Harga rata-rata (J)	Kenaikan (%)	Harga rata-rata (J/mm ²)	Kenaikan (%)	Harga rata-rata (mils)	Penurunan (%)
1	Watercooling suhu $\pm 600^{\circ}\text{C}$	106.83	15.47%	1.64	9.10	29.13	43.23
2	Aircooling suhu $\pm 800^{\circ}\text{C}$	108.67	18.30%	1.68	12.12	32.53	36.59
3	Non treatment	92	-	1.50	-	51.31	-

Dari Tabel 4.4 di atas dapat diketahui kenaikan harga kuat impact yang tertinggi terjadi pada pemanasan suhu $\pm 800^{\circ}\text{C}$ dengan pendinginan udara dari harga kuat pada material tanpa perlakuan panas atau dari 1.50 J/mm² menjadi 1.68 J/mm² sedangkan untuk penurunan ekspansi lateral terbesar terjadi pada proses pemanasan dengan suhu $\pm 600^{\circ}\text{C}$ dengan pendinginan air. Untuk kedua spesimen *line heating* dengan pendinginan udara

memberikan nilai *energy absorb* yang lebih tinggi sebesar 18.30% dan *line heating* dengan pendinginan air sebesar 15.47% dari material tanpa perlakuan panas yang mengindikasikan bahwa hasil perlakuan panas ini lebih ulet (*ductile*).

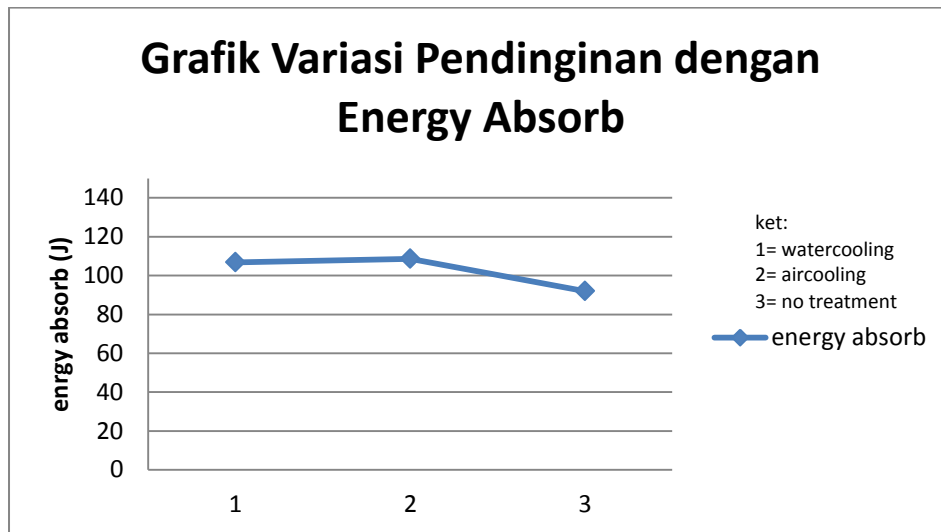
Untuk mengetahui sifat material secara visual, dapat dilihat dengan mengamati bentuk patahan pada material yang telah dilakukan proses pengujian impact. Bentuk patahan dengan berbagai variasi pemanasan dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 4.3. (a) material dengan pendinginan air (b) material dengan pendinginan udara (c) tanpa perlakuan.

Dari gambar di atas dapat dilihat apakah spesimen uji itu patah dengan pola patah getas (*brittle fracture*) atau dengan pola patah ulet (*ductile fracture*) atau kombinasi dari keduanya. Untuk tugas akhir ini dilakukan pengamatan visual pada permukaan patahan. Patahan getas tampak berkilat dan berbutir (dinamakan juga *granular fracture* atau *cleavage fracture*), sedang patahan ulet tampak lebih suram dan berserabut (dinamakan juga *fibrous fracture* atau *shear fracture*). Pada gambar diatas tampak didominasi oleh serabut maka dari itu nilai harga impact yang terjadi cenderung meningkat dibandingkan dengan material yang tanpa dilakukan proses pemanasan *line heating*.

Perubahan *energy absorb* di atas menunjukkan bahwa proses perlakuan panas dengan pendinginan lambat akan menghasilkan harga *energy absorb* yang tinggi, hal ini menunjukkan bahwa pendinginan yang cepat dengan cooling rate yang cepat pula akan menyebabkan material menjadi lebih getas dan yang dengan menggunakan pendinginan lambat akan menjadi ductile. Perubahan besar *energy absorb* pada material akibat proses pemanasan dengan variasi pendinginan ditunjukkan pada grafik dibawah ini:



Gambar 4.4. Grafik variasi pendinginan dengan kuat impact.

4.3 Analisa Hasil Uji Kekerasan

Selanjutnya adalah analisa hasil pengujian kekerasan yang mana pengujian kekerasan ini sering sekali dilakukan karena mengetahui kekerasan suatu material maka (secara umum) juga dapat diketahui beberapa sifat mekanik lainnya, seperti kekuatan. Pada pengujian kekerasan dengan metoda penekanan, penekan kecil (identor) ditekankan pada permukaan bahan yang akan diuji dengan penekanan tertentu. Kekerasan suatu material harus diketahui khususnya untuk material yang dalam penggunaannya akan mengalami gesekan (*frictional force*) dan deformasi plastis material tertentu.

Pada proses pengujian kekerasan material dilakukan dengan menggunakan pengujian kekerasan metode Rockwell B sesuai dengan jenis material yang digunakan. hasil dari pengujian kekearasan akan terlihat pada layar monitor pada mesin uji kekerasan. Pada pengujian kekerasan ini beban yang digunakan sebesar 100 kgf. Pengujian tersebut dilakukan pada tiga spesimen dengan masing-masing variasi yang telah dilakukan. Berikut hasil pengujian kekerasa:

Tabel 4.5. Hasil pengujian kekerasan.

	Variasi Pendinginan		
	Watercooling suhu $\pm 600^{\circ}\text{C}$	Aircooling suhu $\pm 800^{\circ}\text{C}$	Non treatment
Angka Kekerasan (HRB)	83.65	73.95	82.08
	85.39	81.47	89.55
	83.82	81.62	89.48

Dari Tabel 4.5. di atas didapat hasil kekerasan pada material yang dikenai perlakuan panas mengalami penurunan kekerasan, disebabkan material mengalami proses pendinginan yang lambat sehingga menyebabkan material tersebut menjadi lebih lunak. Kemudian dari hasil nilai kekerasan tersebut dihitung nilai rata-rata dari masing-masing kekerasan yang terjadi pada material tersebut sebagai berikut:

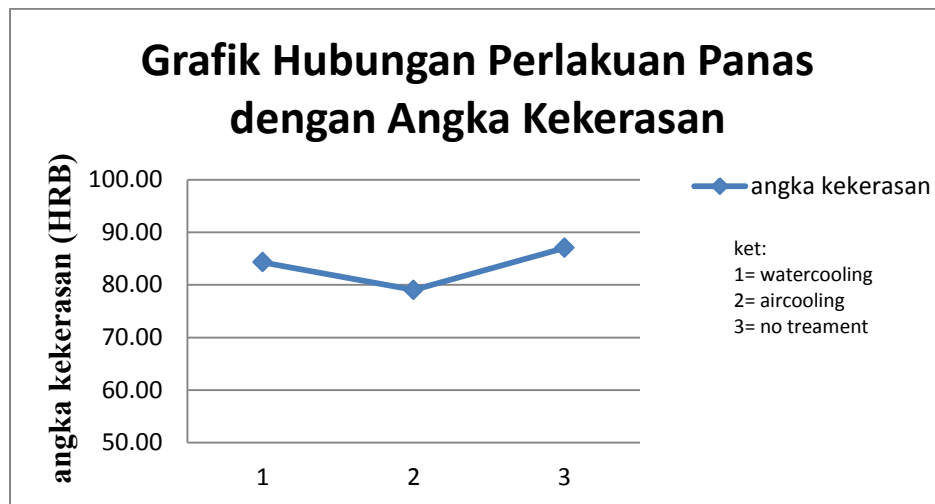
Tabel 4.6. Persentase perubahan kekerasan material tanpa perlakuan dengan material perlakuan panas.

No specimen	Variasi pendinginan	Angka Kekerasan	
		Harga rata-rata (HRB)	Penurunan (%)
1	Watercooling suhu $\pm 600^{\circ}\text{C}$	84.29	3.16
2	Aircooling suhu $\pm 800^{\circ}\text{C}$	79.01	9.22
3	Non treatment	87.04	-

Dari Tabel 4.6 di atas dapat dilihat bahwa angka kekerasan mengalami penurunan dengan adanya perlakuan panas. Pada material yang tanpa dilakukan proses pemanasan memiliki rata-rata kekerasan sebesar 87.04 HRB, namun pada proses perlakuan panas yang dilakukan maka didapat penurunan angka kekerasan material tersebut. Untuk proses pemanasan dengan suhu $\pm 600^{\circ}\text{C}$ dan pendinginan menggunakan air memiliki kekerasan rata-rata 84.29 HRB atau penurunan sebesar 3.16% disbanding dengan material yang tanpa dilakukan proses pemanasan. Sedangkan untuk material yang dilakukan proses pemanasan dengan suhu $\pm 800^{\circ}\text{C}$ dan pendinginan udara memiliki kekerasan rata-rata 79.01 HRB atau penurunan sebesar 9.22%. penurunan ini disebabkan pendinginan yang terlalu lambat sehingga mengakibatkan material menjadi lunak. Sedangkan untuk material yang dilakukan proses pemanasan dengan variasi pendinginan menggunakan air masih tidak ada perubahan kekerasan yang terjadi dimungkinkan pada proses pendinginannya tidak terlalu cepat sehingga material tidak menjadi getas.

Penurunan angka kekerasan ini diikuti dengan oleh kenaikan kuat tarik dan penurunan harga impact dari material walaupun besarnya perubahan yang terjadi tidak terlalu banyak perbedaannya dari kenaikan kekuatan tarik maupun penurunan harga

impact terhadap penurunan angka kekerasan dari material tersebut. Namun secara umum turunnya nilai kuat tarik dan naiknya nilai impact kemudian turunnya angka kekerasan sesuai dengan perlakuan panas pada material ini. Pada studi kasus ini, hal yang diperhatikan adalah kegunaan dari hasil pemanasan yang dilakukan apakah terjadi perubahan kekerasan atau tidak. Berikut grafik perubahan kekerasan yang terjadi pada tugas akhir ini:

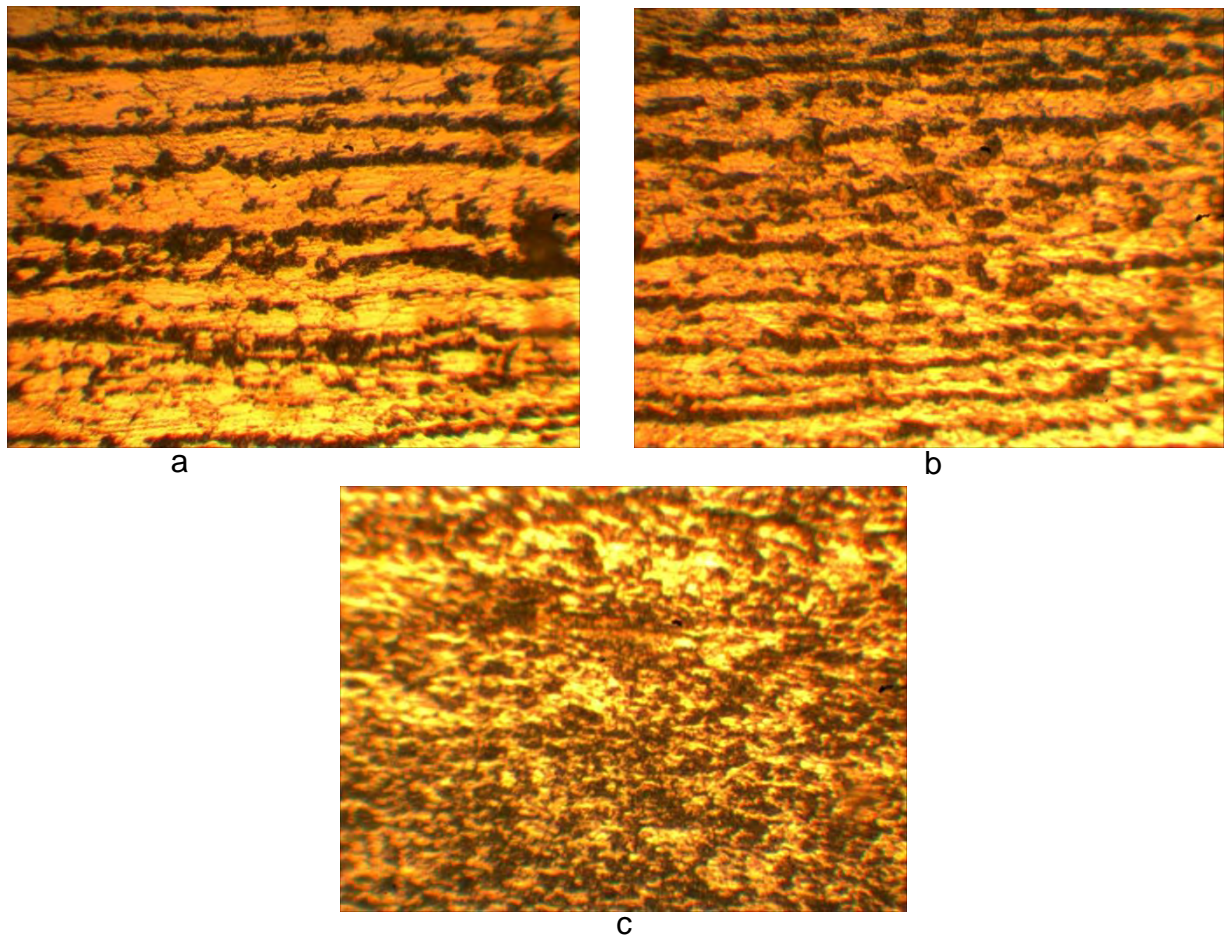


Gambar 4.5. Grafik hubungan perlakuan panas dengan angka kekerasan.

4.4 Analisa Hasil Foto Mikro

Melalui pengamatan foto mikro dapat diketahui fenomena perubahan struktur mikro yang tampak pada material yang dilakukan proses pemanasan dengan material yang tanpa dilakukan proses pemanasan. Perbedaan yang dapat digunakan sebagai parameter untuk menganalisa adalah besarnya ukuran butir (*grain size*) serta kandungan ferrit dan perlit. Hasil foto mikro menunjukkan bahwa komposisi struktur mikro terdiri dari matrik ferrit dan perlit yang terdistribusi secara acak dengan ukuran butir yang beragam pada semua variasi pemanasan. Matrik ferrit dalam foto ditunjukkan dengan bagian terang sedangkan untuk bagian yang berwarna gelap dinamai dengan matrik perlit.

Penentuan besarnya ukuran butir dilakukan dengan cara membandingkan dengan hasil foto mikro dengan pembesaran 400 x dengan mengamati butiran yang terdapat pada masing-masing perlakuan maupun material tanpa perlakuan. Berikut hasil foto mikro yang dikerjakan pada tugas akhir ini:



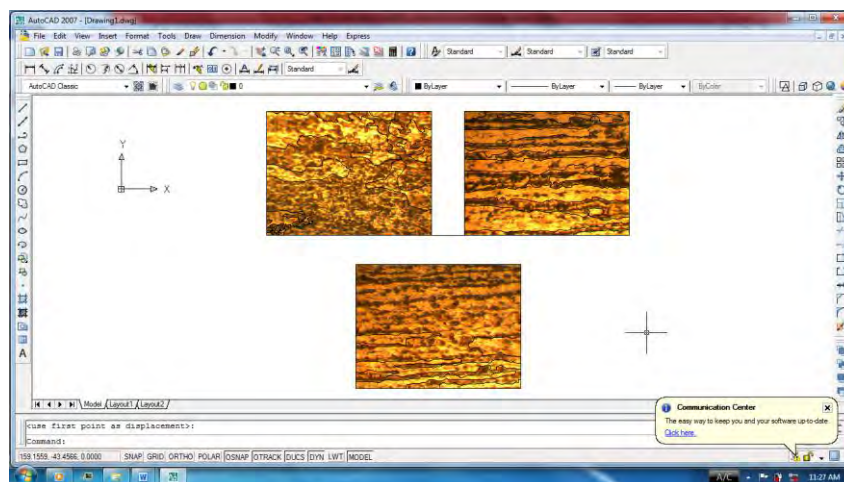
Gambar 4.6. (a) material dengan pendinginan air (b) material dengan pendinginan udara (c) tanpa perlakuan.

Pada proses perlakuan panas material mengalami variasi pemanasan yang berbeda-beda ada yang mengalami pemanasan suhu 600°C dan juga ada pemanasan sampai temperatur di atas A_1 . Perlakuan panas dengan menggunakan suhu 800°C dengan pendinginan udara (pendinginan lambat) ini akan diperoleh austenite yang lebih homogen dengan butiran kristal yang masih halus, bila dibandingkan dengan pendinginan air yang mempunyai butiran yang lebih besar dari pendinginan air sehingga pembentukan inti lebih cepat dan lebih rapat. Sedangkan dengan material yang tanpa perlakuan memiliki struktur yang lebih rapat dengan butiran yang lebih kecil dan banyak.

Pendinginan yang lebih cepat akan berpengaruh pada ukuran ferit proeutectoid yang lebih kecil, sehingga ferrit eutectoid akan lebih sedikit dan perlit akan lebih banyak bila dibandingkan dengan proses pemanasan dengan pendinginan lambat. Disamping mempengaruhi banyaknya konstituen proeutectoid yang terjadi, lebih cepatnya pendinginan ini juga mengakibatkan kurangnya waktu untuk berdifusi sehingga perlit akan

lebih halus (butiran lebih kecil) sehingga menjadikan lebih keras dan lebih kuat dari proses pendinginan dengan pendinginan lambat dan dengan material tanpa perlakuan panas.

Perhitungan jumlah ferrit dilakukan dalam bentuk prosentase, dengan jalan mengukur luasan ferrit dibandingkan dengan luasan keseluruhan bidang hasil foto mikro untuk perhitungan jumlah ferrit dilakukan dengan menggunakan bantuan autocad yaitu menggambar luasan ferrit kedalam gambar autocad dengan cara menggambar ulang hasil scan dari foto mikro sehingga luasan dapat tergambar dan dapat pula dihitung dengan bantuan auto cad. Penggambaran luasan dengan menggunakan autocad akan menghasilkan akurasi yang tinggi karena dapat diperbesar beberapa kali.



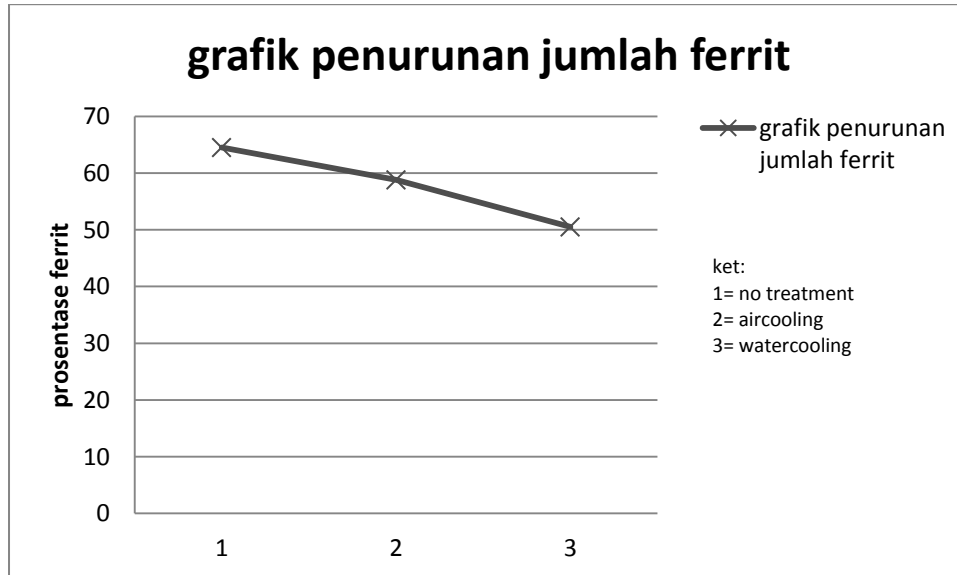
Gambar 4.7. Proses perhitungan ferrit.

Dari hasil menggambar ulang dari foto yang didapat maka didapat prosentase dari kandungan ferrit yang terdapat pada masing-masing variasi pemanasan yang dilakukan. Berikut Tabel 4.7., hasil rekap prosentase kandungan ferrit pada masing-masing perlakuan:

Tabel 4.7. Prosentase kandungan ferrit.

No specimen	Variasi pendinginan	Jumlah ferrit	
		Prosentase ferrit (%)	Penurunan (%)
1	Watercooling suhu $\pm 600^{\circ}\text{C}$	50.5	14
2	Aircooling suhu $\pm 800^{\circ}\text{C}$	58.5	5.6
3	Non treatment	64.5	-

Dari Tabel diatas akan didapat grafik penurunan jumlah ferrit yang terkandung dalam material yang dilakukan perlakuan. Perbedaan ini dapat dillihat dari grafik dibawah ini:



Gambar 4.9. Grafik penurunan jumlah ferrit.

Dari Gambar di atas terlihat bahwa kandungan ferrit semakin berkurang, menurunnya jumlah ferrit dalam kandungan material menyebabkan kekerasan material kan meningkat dan keuletannya akan menurun. Perubahan kandungan ferrit dan perlit terjadi diakibatkan oleh adanya perubahan kandungan karbon yang terlarut dalam besi untuk membuat larutan paduan. Akibat pemanasan yang mencapai 723°C menyebabkan terjadinya reaksi eutektoid dimana terjadi perubahan fase dari ferrit + sementit menjadi austenite, proses perubahan menjadi fase austenite secara keseluruhan berlangsung sampai temperature mencapai suhu A_1 ke atas dengan jangka waktu tertentu.

Pada saat proses pendinginan, austenite akan mengalami transformasi fase yang diawali dengan terbentuknya inti-inti ferrit pada batas butir austenite. Ferrit mempunyai kemampuan untuk melarutkan karbon yang sangat kecil sehingga austenite harus melepaskan karbon untuk membentuk ferrit. Hal ini menyebabkan sisa austenite memiliki lebih banyak karbon. Temperature makin rendah ferrit yang terbentuk makin banyak dan kadar karbon makin banyak. Pada saat terjadi proses eutektoid 723°C , sisa austenite menjadi perlit sehingga dibawah temperature A_1 struktur terdiri dari ferrit proeutectoid dan perlit. Sisa karbon yang tidak sempat terbentuk perlit akibat pendinginan yang cepat akan larut dalam besi membentuk ferrit seiring turunnya temperatur.

Perubahan kandungan ferrit dan perlit dari material hasil perlakuan panas menyebabkan terjadinya perubahan pada sifat mekanik dari material tersebut. Hal ini dapat terlihat dari perubahan kuat tarik, kuat impact dan nilai kekerasan. Dimana kuat tarik dan harga impact akan lebih tinggi, sedangkan nilai kekerasannya makin rendah dibanding dengan material tanpa perlakuan panas yang memiliki ukuran butir yang sama namun kandungan ferrit dan perlit yang berbeda. Selain kandungan ferrit dan perlitnya, ukuran butir juga mempengaruhi perubahan sifat mekanik dari material, semakin halus ukuran butirannya, maka semakin besar energi yang dibutuhkan untuk merusak butir tersebut dibandingkan dengan material yang memiliki ukuran butir yang kasar.

4.5 Pembahasan

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, didapat hasil dari masing-masing pengujian yang membuat perbedaan dari sifat mekanik dan struktur mikro yang terjadi pada masing-masing perlakuan panas dengan variasi yang telah ditentukan. Perbandingan antara kedua perlakuan panas dengan masing-masing variasi pendinginan secara keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 4.8. di bawah ini.

Tabel 4.8. Hasil rekap pengujian.

No	Bentuk pengujian	Watercooling suhu $\pm 600^{\circ}\text{C}$		Aircooling suhu $\pm 800^{\circ}\text{C}$		Non treatment	
1	Tensile test	σ_{ultm} (MPa)	568.59	σ_{ultm} (MPa)	513.93	σ_{ultm} (MPa)	556.56
		σ_{yield} (MPa)	472.29	σ_{yield} (MPa)	365.97	σ_{yield} (MPa)	483.53
		E (%)	21.5	E (%)	28.77	E (%)	23.8
		RoA (%)	60.10	RoA (%)	68.06	RoA (%)	55.38
2	Impact test	Energi Absorb 106 joule		Energi Absorb 108.6 joule		Energi Absorb 91.8 joule	
3	Hardness test	Harga rata-rata (HRB) 84.29		Harga rata-rata (HRB) 79.01		Harga rata-rata (HRB) 87.04	
4	Struktur mikro	Struktur butir tidak merata. Ukuran butir watercooling lebih besar dibanding dengan pendinginan udara		Struktur butir tidak merata. Ukuran butir aircooling lebih besar dibanding dengan material tanpa perlakuan		Struktur butir merata secara keseluruhan dan memiliki butir yang cenderung kecil dan rapat	

Keterangan tabel:

(σ_{yield})	= Tegangan Yield
(σ_{ultm})	= Tegangan tarik maksimum
E	= Regangan (<i>elongation</i>)
RoA	= <i>reduction of area</i>

Dari Tabel 4.7. didapatkan bahwa perlakuan *line heating* dengan media pendinginan air memberikan hasil yang lebih baik secara keseluruhan. Dimulai dari nilai tegangan maksimum, nilai kekerasan yang lebih tinggi dan ukuran butir yang berukuran lebih besar diantara perbandingan yang lain. Namun pada hasil *line heating* dengan media pendinginan udara didapatkan harga *elongation* dan *reductional area* yang lebih tinggi yang mengindikasikan bahwa hasil perlakuan panas ini lebih ulet (*ductile*). Hasil uji kekerasan pada spesimen tanpa perlakuan menunjukkan nilai kesetaraan yang lebih tinggi dibandingkan dengan proses perlakuan panas. Hal ini ditunjukkan oleh rata-rata kekerasan yang memiliki harga lebih tinggi secara keseluruhan dibandingkan dengan material yang dilakukan proses perlakuan panas, walaupun nilai rata-rata kekerasannya tidak terlalu besar perbedaannya.

Korelasi antara tegangan *yied* dan tegangan *ultimante* adalah untuk menentukan sifat mekanik dari masing-masing daerah elastic dan plastic, untuk daerah elastic ditunjukkan oleh titik yield dimana nilai tersebut digunakan untuk menyatakan kekuatan elastic, kekakuan (*stiffness*) dan kekenyalan (*resilience*). Masing-masing sifat mekanik tersebut penting sekali dalam suatu perancangan karena tegangan yang bekerja pada suatu bagian tidak boleh melebihi *yield point* dari bahan supaya tidak terjadi deformasi plastic. Sedangkan untuk daerah plastic ditunjukkan dengan tegangan maksimum sebelum putus atau disebut dengan kekuatan tarik (*ultimate tensile strength*) dimana nilai tersebut digunakan untuk menyatakan kekuatan tarik, keuletan (*ductility*) dan ketangguhan (*toughness*). Dimana masing-masing sifat mekanik tersebut digunakan untuk menggambarkan kemampuan material untuk berdeformasi secara plastic tanpa menjadi patah.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari analisa yang telah dilakukan terhadap perlakuan panas dengan pendinginan udara dan air terhadap sifat mekanik material dan struktur mikro dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Pada pengujian impact, pada kedua spesimen *line heating* dengan pendinginan udara memberikan nilai *energy absorb* yang lebih tinggi sebesar 18.30% dan *line heating* dengan pendinginan air sebesar 15.47% dari material tanpa perlakuan panas yang mengindikasikan bahwa hasil perlakuan panas ini lebih ulet (*ductile*).
- Hasil pengamatan struktur mikro menunjukkan bahwa perlakuan panas dengan pendinginan air memiliki nilai butiran yang lebih besar dibandingkan dengan perlakuan panas dengan pendinginan udara.
- Hasil pengujian kekerasan Rockwell B menunjukkan hasil dari perlakuan panas dengan pendinginan air didapat nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan pendinginan udara, walaupun rata-rata kedua perlakuan panas nilai kekerasannya lebih lemah daripada material tanpa perlakuan.
- Pada pengujian tarik, spesimen yang didinginkan dengan media air memberikan harga kuat tarik maksimum yang lebih besar 2.16% dari pada specimen tanpa perlakuan panas sedangkan untuk specimen yang didinginkan dengan udara memberikan harga kuat tarik yang lebih rendah 7.83% dari pada specimen tanpa perlakuan panas.
- Hasil pengujian diatas menyimpulkan bahwa perlakuan panas dengan pendinginan air memiliki sifat mekanik yang lebih baik dari pada perlakuan panas dengan pendinginan udara meskipun nilainya tidak terlalu besar perbedaannya.
- Untuk proses *line heating* dengan pendinginan udara maupun air tidak menyebabkan material menjadi getas asalkan proses perlakuannya dilakukan dengan benar dan diawasi suhu yang diberikan agar material tidak terjadi perubahan yang terlalu besar.

5.2 Saran

Karena banyaknya batasan permasalahan yang digunakan pada penelitian ini, hasil tugas akhir ini belum dapat dikatakan sempurna, untuk itu penulis memberikan beberapa rekomendasi untuk kemajuan penelitian tugas akhir berikutnya. Beberapa diantaranya adalah:


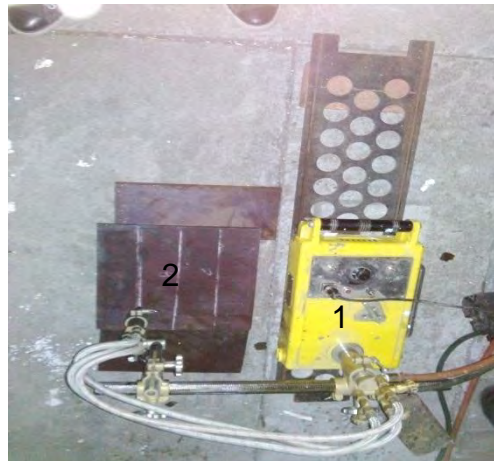

- Untuk pelakuan *line heating* selanjutnya, sebaiknya dilakukan dengan material yang berbeda untuk mengetahui perubahan yang terjadi oleh proses pemanasan tersebut.
- Hendaknya menggunakan variasi temperatur yang lebih banyak sehingga dapat diperoleh suhu yang optimal untuk proses perlakuan panas *line heating*.
- Untuk kondisi lapangan kemungkinan suhu yang digunakan untuk melakukan proses pemanasan dengan media air melebihi suhu yang ditetapkan sehingga membuat material yang digunakan menjadi terlalu getas dan tidak bisa lagi untuk dilakukan proses fabrikasi. Oleh karena itu, diperlukan pengontrolan suhu pada setiap perlakuan panas yang akan dilakukan.





LAMPIRAN

LAMPIRAN A

Berikut adalah lampiran mengenai peralatan dan bahan yang digunakan selama proses penelitian, dimulai dari peralatan dan bahan pembuatan spesimen, pembuatan spesimen uji, dan peralatan saat proses pengujian dilakukan.

Bahan Penelitian

No	Nama Bahan	Gambar
1	Baja Karbon ASTM A36	
2	Mesin pemotong pelat 1. Mesin blander / <i>scator machine</i> 2. <i>Backing plate</i>	
3	Batu Gerinda	

4	<p>Kertas Gosok</p> <p>Kertas gosok yang digunakan adalah tipe water proof memiliki Grid 80, 120, 240, 600, 1000, 1500, dan 2000.</p>	
5	<p>Bahan Etsa Material</p> <p>Bahan etsa yang digunakan adalah: HF, HCl, HNO₃, dan H₂O</p>	
6	<p>Alat Pengukur suhu</p> <p>Merk : Krisbow KW06-304</p> <p>Temp range : -58°F - 1382°F</p>	
7	<p>Peralatan las oxy-acetylene</p>	


8	Alat pengalir air	
---	-------------------	--

Peralatan Persiapan Material Uji


No	Nama Alat	Gambar
1	Mesin Gergaji Merk : Weisel Tipe : BSM-280 Daya : 2,2 KW Power supply : 380 V, 50 Hz Tahun pembuatan : 1978 Berat : 495 Kg Mata gergaji : Sandflek	
2	Mesin Gerinda Merk : BOSCH Daya : 670 W Power supply : 220V-230V 50-60 Hz, 3A RPM : 11000 rev/min	
3	Ragum	

4	Mesin Poles Merk : Beuhler Ecomet III Polisher and grinder Daya : 1 HP Power supply : 220 v, 50-60 Hz, 3 A Cooler : Water	
5	Kikir Tipe : Kikir pipih dan setengah lingkaran	
6	Jangka Sorong Merk : Absolute Tipe : Digital	


Peralatan Uji Tarik

No	Nama Alat	Gambar
1	Universal testing Machine Merk : Mess MFL, Germany Tipe : UPD-20 Kapasitas : 200 KN	


Peralatan Uji Impact

No	Nama Alat	Gambar
1	<i>Universal testing Machine</i> Merk : W TESTOR AMSLER Tipe : PW-15 Kapasitas : 150 joule	

Peralatan Uji Metalografi

No	Nama Alat	Gambar
1	Kamera Foto Mikro <i>Main power: 80 -265 V/ 50-60</i> <i>Lamp: 6V/20W Halogen</i> <i>Fuse : 1A</i>	

Peralatan Uji Kekerasan Rockwell

No	Nama Alat	Gambar
1	Alat uji kekerasan <i>Rockwell</i>	

LAMPIRAN B

Lampiran ini berisi tentang data-data yang mendukung tugas akhir dan data yang diperoleh dari hasil pengujian specimen.

Conclusions

Dec 17, 2001, 4

Medical Officer of Factory:
Ibrahim Banoji D. Warming Dhangok, Pessa, Sakshabam
C. Ibaram Singh, Bichasi, West Jaintia Pindriamam

Material	1301 Rolled Steel Plates
Specification	ASTM A 16 - 08 (2011)
General Requirement	ASTM A 6 - 10a (2011)
Supply Condition	As Rolled

CERTIFICATE NUMBER	GRP-QA-MTC / 1568 / XII
CERTIFICATE DATE	December 20, 2017
S/O No	L 2632 / MMT - PROD / XI

[illegible]

CERTIFIED TRUE COPY

We hereby certify that the material described herein has been used and satisfactorily tested in accordance with the above specification.

ACKNOWLEDGMENTS

PT. WINN METALS

1

UNITED STATES AIR FORCE

1951

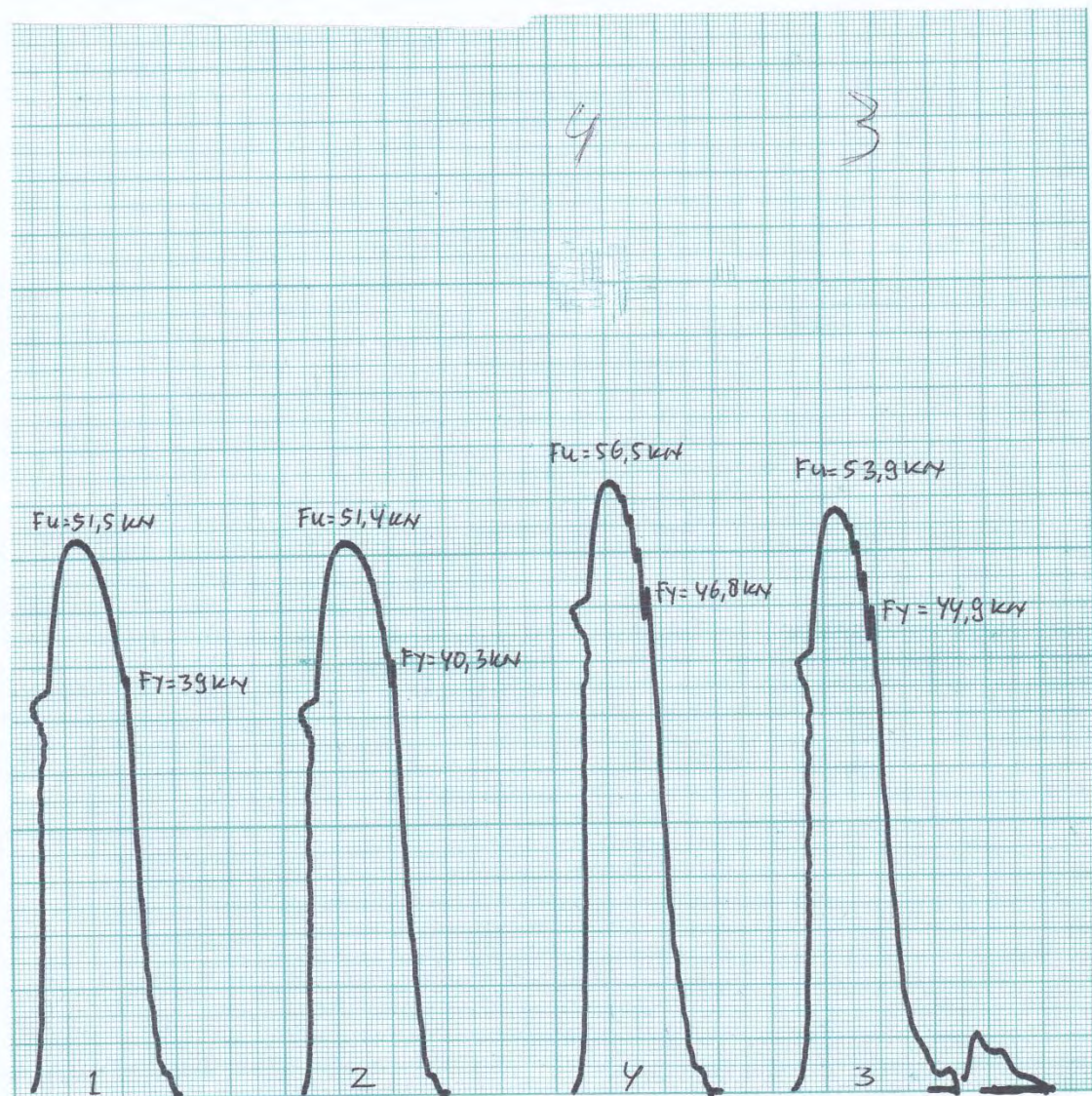


Gedung W - Lantai 1, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp./Fax. 031 599 4933

REPORT ON TEST RESULT NO. : /IT2.4.I.1/PM.05.02/20

DATE : 25 November 2019
ORDER FROM : NA
TEST STANDARD : ASTM A370
MATERIAL SPECS. : Baja karbon ASTM A36 thickness = 8 mm.
PROJECT : Tugas akhir

1. TENSILE TEST										
NO	CODE MATERIAL	SPECIFICATION SAMPLE				TENSILE TEST RESULTS				REMARK
		WIDTH	THICK	DIA.	C S A	YIELD STRESS	ULTIMATE STRESS	ELONGA TION	REDUCT. of AREA	
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm ²)	(MPa)	(MPa)	(%)	(%)	
1	3	12,18	7,91		96,42	465,67	559,01	22,36	62,59	
2	4	12,41	7,88		97,72	478,91	578,18	20,64	57,61	
3	2	12,64	7,99		100,39	399,05	508,96	29,36	69,32	
4	1	12,61	7,87		99,24	392,88	518,94	28,18	66,79	
NO	F. YIELD Ultimate		F. ULTIMATE Yield		Lo	L1	D1 / Wd.1	Th.1	A1	
	KN	N	KN	N						
1	53,9		44,9		50	61,18	8,05	4,48	36,069	
2	56,5		46,8		50	60,32	8,72	4,75	41,472	
3	51,4		40,3		50	64,68	7,67	4,04	30,98	
4	51,5		39		50	64,09	7,72	4,27	32,96	
Witnessed by :					The Laboratory Of Ships Strength And Construction FT. Kelautan ITS					
1.					Tester					
2.										
3.										
4.										
5.										





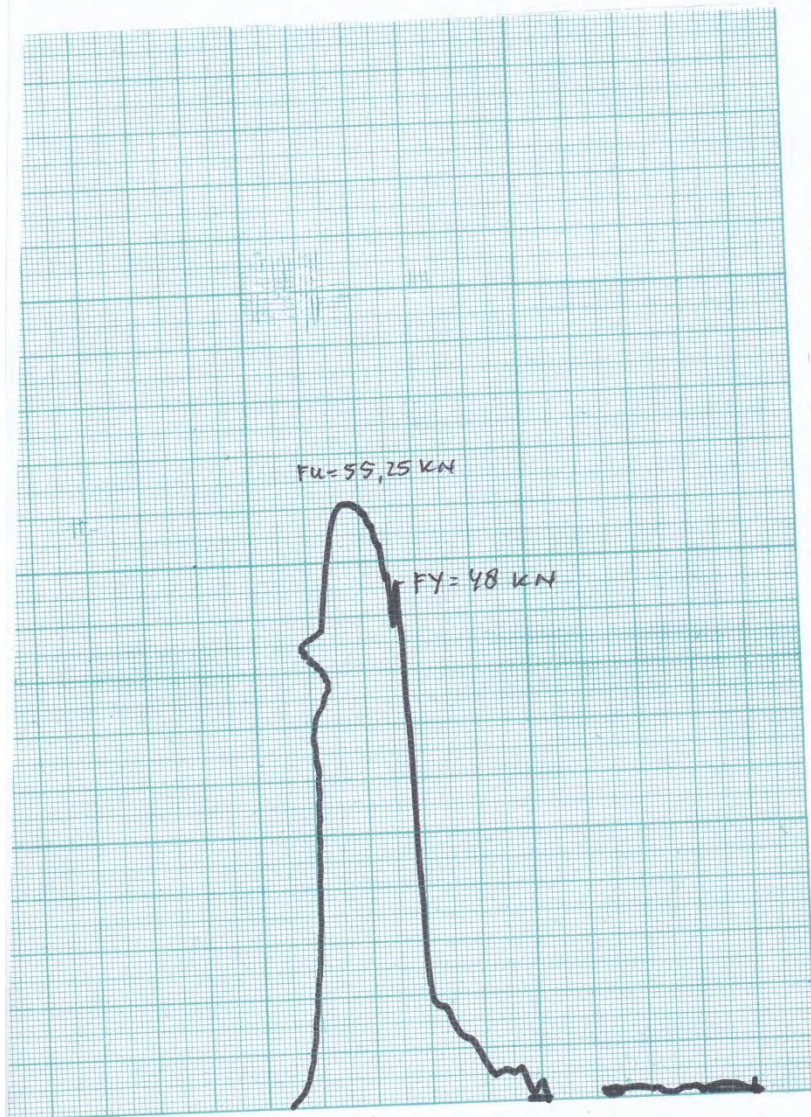
ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

LABORATORIUM KONSTRUKSI DAN KEKUATAN KAPAL
JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Gedung W - Lantai 1, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp./Fax. 031 599 4933

REPORT ON TEST RESULT NO. : /IT2.4.1.1/PM.05.02/20

DATE : 3 Desember 2014
ORDER FROM : NA
TEST STANDARD : ASTM A370
MATERIAL SPECS. : ASTM A36
PROJECT : Tugas akhir

1. TENSION TEST										
NO	CODE MATERIAL	SPECIFICATION SAMPLE				TENSILE TEST RESULTS				REMARK
		WIDTH (mm)	THICK (mm)	DIA. (mm)	CSA (mm ²)	YIELD STRESS (MPa)	ULTIMATE STRESS (MPa)	ELONGATION (%)	REDUCT. of AREA (%)	
1	1	12,55	7,91		99,27	48,53	556,56	23,8	55,8	
NO	F. YIELD		F. ULTIMATE		Lo	L1	D1 / Wd.1	Th.1	A1	
	KN	N	KN	N						
	98		55,25		50	61,9	8,5	5,21	49,29	
2. IMPACT TEST										
TEMPERATUR 30 °C										
NO	IDENTIFICATION	LENGTH	WIDTH	THICK	JOULE	Wd 1	LATERAL EXPANTION			
		(mm)	(mm)	(mm)	(N)	(mm)				
1	1	55,21	7,77	8,13	101	6,6	46,06			
2	2	55,01	7,8	7,98	91,5	6,34	57,48			
3	3	55,16	7,75	8,04	83,5	6,43	51,92			
Witnessed by :					The Laboratory Of Ships Strength And Construction FT. Kelautan ITS					
1.					Tester					
2.										
3.										
4.										
5.										





Gedung W - Lantai 1, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp./Fax. 031 599 4933

REPORT ON TEST RESULT NO. : /IT2.4.I.1/PM.05.02/20

DATE : 3 Desember 2019
ORDER FROM : NA
TEST STANDARD : ASTM A370
MATERIAL SPECS. : ASTM A36
PROJECT : Tugos akhir

[illegible]



Gedung W – Lantai 1, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp./Fax. 031 599 4933

/IT2.4.2/LKK/PM/201:

: 1 Desember 2014.
: VA
: ASTM E23
: Baja Karbon ASTM A36

3


[illegible]



TEST REPORT

Order from : Sofyan Sahri
 Test Specimen :
 Material : ASTM A36
 Reference :
 Date :

Date _____ :			TIME = $\frac{5}{10}$ s				
HARDNESS TEST (ROCKWELL B)							
LOAD = 100 KGF							
No.	Sample stamp	No	Location	Position	Hardness value	average	Sketch
1	1	1	BM		73,95		
		2	BM		81,47		
		3	BM		81,62		
		4	HAZ				
		5	HAZ				
		6	HAZ				
		7	WM				
		8	WM				
		9	WM				
2	2	1	BM		83,65		
		2	BM		85,39		
		3	BM		83,82.		
		4	HAZ				
		5	HAZ				
		6	HAZ				
		7	WM				
		8	WM				
		9	WM				
3	3	1	BM		82,08		
		2	BM		82,55		
		3	BM		82,48.		
		4	HAZ				
		5	HAZ				
		6	HAZ				
		7	WM				
		8	WM				
		9	WM				

witnessed by				 MOH. ABD. CHANAN
1				
2				
3				
4				

DAFTAR PUSTAKA

- ASM Handbook Committee. (1991). *ASM Handbook Volume 4-heat treating*. Ohio: American Society of Metals (ASM).
- ASTM A370. (1977). *Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products*. New York: American Society for Testing and Materials (ASTM).
- ASTM Volume 03.01. (2004). *Metals-Mechanical Testing; Elevated and Low-Temperature Test; Metallography*. Philadelphia: American Society for Testing and Materials (ASTM).
- Amanto, Hari. (1999). *Ilmu Bahan*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Cardarelli, Francois (2000). *Material Handbook*. London.
- Robert H.todd. 1994.*Steel and its Heat Treatment*. Butterworth, London.
- Sidney H. avner.(1974). *Introduction Physical Metalurgy*. new york.
- The International Association of Classification Societies (IACS). 1996. No.47 *Shipbuilding and Repair Quality Standard*. London: International Association Of Classification Societies Ltd.
- Totten,G.E bates C.E dan Clinton, N.A. 1991.*Quenchants and Quenching Technology*. ASM international.
- www.1.bp.blogspot.com/, 2014> Diagram Fase Fe-Fe₃C. Diakses pada tanggal 17 desember 2014.
- www.infometrik.com/, 2014> Grafik Perlambatan transformasi akibat pengaruh pendinginan kontinu. Diakses pada tanggal 20 desember 2014.
- www.wikipedia.id, 2014> Kurva (F-Δλ) hasil uji tarik. Diakses pada tanggal 20 desember 2014.

www.infometrik.com, 2014> Gambaran singkat hasil pengujian tarik. Diakses pada tanggal 20 desember 2014.

www.infometrik.com, 2014> Kurva tegangan-regangan. Diakses pada 20 desember 2014.

www.alatuji.com, 2014> Gambar Prinsip kerja Rockwell. Diakses pada tanggal 20 desember 2014.

www.alatuji.com, 2014> Tabel Rockwell Hardness Scales. Diakses pada 20 desember 2014.

www.alatuji.com, 2014> Benda uji Impact Charpy bentuk “V”. Diakses pada 20 desember 2014.